

平成 30 年度修士論文

東京オリンピック・パラリンピック競技会場周辺地域の立ち寄りやすさの定量的評価
ー歩行時ストレス評価モデルをもとにー

首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市システム科学域

17887405 鈴木庸介

指導教員 伊藤史子 教授

目次

第1章 序論

1-1 研究の背景	1
1-2 研究の目的	4
1-3 既往研究	5
1-3-1 歩行時のストレス評価に関する研究	5
1-3-2 街路ネットワーク分析に関する研究	7
1-3-3 既往研究レビューまとめ	9
1-4 本研究の位置付け	11
1-5 研究の構成	11

第2章 研究対象地域

2-1 東京オリンピック・パラリンピック競技会場の概要	15
2-1-1 競技会場の立地	15
2-1-2 競技会場の基本情報	16
2-2 対象地域	17
2-2-1 対象地域の選定	17
2-2-2 対象地域の概要	20

第3章 歩行時ストレス計測実験

3-1 ストレス量の算出方法	24
3-1-1 心拍変動の解析	24
3-1-1-1 LF/HF の概要	25
3-1-1-2 LP 面積の概要	27
3-1-1-3 心拍変動の解析まとめ	29
3-2 実験内容	30
3-2-1 実験の流れ	30
3-2-2 実験ルートを選定	37
3-2-3 実験結果	38

第4章 歩行時ストレス評価モデルの構築

4-1 歩行時ストレス評価モデルの変数の選定	42
4-1-1 変数候補の抽出	42
4-1-2 量的変数の相関関係	44
4-1-3 質的変数の関連性	46
4-1-1 量的変数と質的変数の関連性	47
4-2 ストレスと街路の空間構成要素の関係性	48

4-2-1	重回帰分析	48
4-2-2	マルチレベル分析	50
4-2-2-1	分析の概要	50
4-2-2-2	分析の流れ	53
4-2-2-3	分析結果	54
4-2-3	分析結果のまとめ	56
4-3	歩行時ストレス評価モデルの構築と適用	58
4-3-1	歩行時ストレス評価モデルの構築	58
4-3-2	歩行時ストレス評価モデルの適用	60
4-4	まとめ	62

第5章 立ち寄りやすさの定量的評価

5-1	街路ネットワーク分析	64
5-1-1	中心性分析	66
5-1-1-1	媒介中心性	66
5-1-1-2	回遊中心性	68
5-1-2	立ち寄りやすさの定量的評価方法の提案	70
5-1-2-1	競技会場と利用想定駅	71
5-2	移動コスト式の構築	75
5-3	街路ネットワークの構築	76
5-4	立ち寄りやすさの定量的評価	77
5-4-1	代々木体育館の回遊中心性	78
5-4-2	東京体育館の回遊中心性	83
5-4-3	新国立競技場の回遊中心性	92
5-4-4	全体の回遊中心性	101
5-5	まとめ	103

第6章 結論

6-1	総括	105
6-2	課題と今後の展望	107

資料編

謝辞

第 1 章

序論

第1章 序論

1-1 研究の背景

近年、郊外への大型商業施設の進出やモータリゼーションの進展が要因となり、中心市街地の空洞化などの問題が発生している。これを受け、中心市街地を活性化していくべく、商業地域の環境改善や回遊性の向上などを課題として挙げ、多くの自治体がこの問題に取り組んできた。筆者は卒業研究において商店街を対象として来街者の行動を調査し、分析を進めた。研究を進める中で、中心市街地を活性化していくには、来街者の立ち寄り行動が重要であるとの結論に至った。立ち寄り行動とは、ある来街者が目的地に向かう途中、他の施設または地点に立ち寄ることを指す。立ち寄り行動が促進されることで、来訪箇所が増加し、中心市街地の活性化につながると考えた。立ち寄り行動を促進するには、施設間のアクセシビリティの向上が重要と考えられ、様々なアクセシビリティ研究が行われている。しかし、立ち寄り行動はある地点からのある地点への一対の移動ではなく、複数の施設・地点を経由して移動する行動のため、アクセシビリティでは、実際の行動に適した評価を行うことはできない。アクセシビリティはある地点からの距離が近いほどアクセスが良く、評価値が高い指標である。それに対し、「立ち寄りやすさ」はある目的地に向かうときに途中でどこか立ち寄った場合に、どれだけ遠回りをせずに移動できたかが重要といえる。

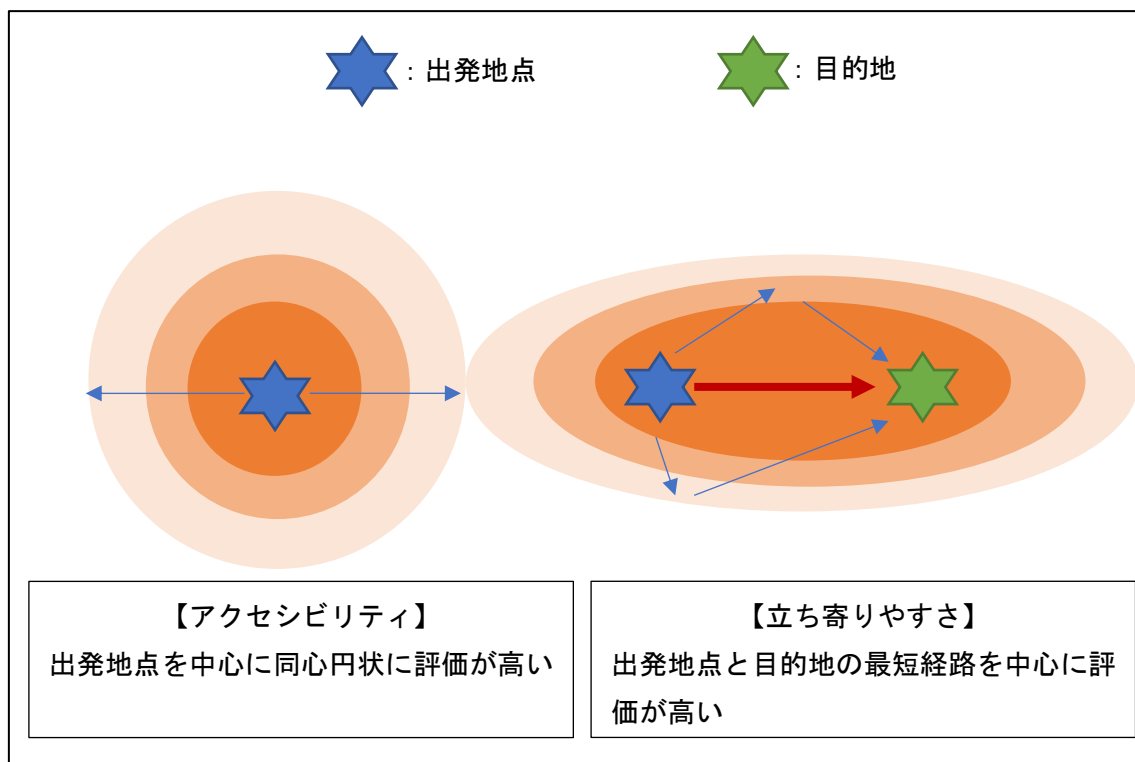


図1-1 アクセシビリティと立ち寄りやすさの違い

賑わい創出や来訪箇所の増加を促進するにはアクセシビリティではなく、立ち寄りやすさに着目すべきといえる。特に、今後も恒久的に都市整備を進め、活性化を図っていくべき地域においては「立ち寄りやすさ」の観点から、整備方針や基準を見直し、検討していくべきだろう。

さて、現在、2020年に開催される東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けて東京都内で競技会場の新設や既存施設の改修等が進められている¹⁾。1964年に開催された東京オリンピック大会において使用された国立霞ヶ丘競技場（以下国立競技場）は老朽化やスタンドの増設を理由に既存施設が解体され、「新国立競技場」の新設工事が進められている。有明等の湾岸地域では有明アリーナや有明体操競技場など完全な新規施設の整備も行われている。また、国立代々木競技場や東京体育館等の既存施設は2020年大会に向けて改修工事が進められている。

東京都は今回の大会に合わせて、整備を行った施設を「レガシー施設」と定め、大会期間のみならず、大会後の恒久的な利用を推進している。東京都都市整備局では、新国立競技場並びに東京体育館が立地する神宮外苑地区を対象とした神宮外苑地区地区計画を策定した²⁾。本地区計画は、神宮外苑地区にスポーツ施設が集積していることを背景に、国内外から多くの人を訪れるスポーツ拠点を創造し、周辺地域の賑わいを創出することを目的に定めている。施設に加え、周辺街路のバリアフリー化や景観整備を進めることを事業方針としている。また、東京都建設局は競技会場周辺の道路のバリアフリー化など移動環境の整備を政策目標として掲げている³⁾。東京都建設局が策定した「東京都道路バリアフリー推進計画」では、各競技会場や観光施設を中心におおむね半径1km圏域にある都道のうち、競技会場と鉄道駅や観光施設を結ぶ道路など図2a)～d)、図3a)～c)に該当する道路を対象として整備を進めていく方針が示されている。競技会場から公共交通拠点の鉄道駅へのアクセスに加えて周辺観光施設へのアクセスの確保を目標に掲げ、競技会場周辺のにぎわい創出を計画している。

上記のように2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会を契機に競技施設に加え周辺地域の整備に関する計画の策定が進められている。その中でも、前述した神宮外苑地区地区計画・東京都道路バリアフリー推進計画の両計画において歩道の拡幅や良好な景観形成など歩行空間の整備が挙げられており、歩行者目線の整備方針が示されている。良好な歩行空間を形成することにより、周辺の観光施設へのアクセスを改善し、周辺地域の賑わい創出を図っている。本大会に合わせて整備を行った施設をレガシーとして活用し、周辺地域の振興を図るためにも、歩行者目線の綿密な整備事業を計画していくことが重要といえる。

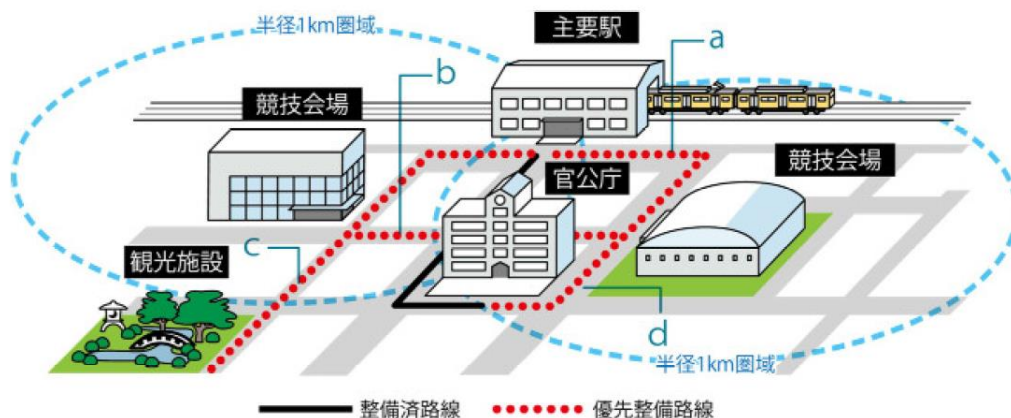


図 1-2 東京都道路バリアフリー推進計画整備イメージ
出典：東京都道路バリアフリー推進計画³⁾

- a) 東京 2020 大会の競技会場から鉄道駅を結ぶ道路
- b) 東京 2020 大会の競技会場間を結ぶ道路
- c) 競技会場と観光施設を結ぶ道路
- d) その他、ネットワークを形成する道路

図 1-3 競技会場周辺道路の整備対象³⁾

- a) 観光施設から鉄道駅を結ぶ道路
- b) 観光施設間を結ぶ道路
- c) その他、ネットワークを形成する道路

図 1-4 観光施設周辺道路の整備対象³⁾

1-2 研究の目的

1-1 節で上述したように、東京オリンピック・パラリンピック競技会場は大会後の恒久的な利用を想定しており、かつ、施設利用に合わせ、周辺地域の整備事業を行うことで賑わい創出等を計画している。整備計画では歩行者目線の整備方針が示されており、快適な歩行環境を創出し、周辺の観光施設への立ち寄りやすさを改善することが求められている。しかし、整備コストには制約があるため、どこの地域を重点的に整備していくべきか、より詳細に検討していく必要がある。そこで、本研究では以下の2点を目的として研究を進めていく。

- ①競技会場周辺地域の全街路の歩行時ストレス量を定量的に評価する
- ②移動コストにストレス量を重みづけした街路ネットワークを構築し、競技会場周辺地域（観光施設等）への立ち寄りやすさを定量的に評価する

人は快適な街路を歩行するときは、実際の距離よりも短く感じるのではないだろうか。大佛ら（2017）¹³⁾は歩行時の移動コストに道路幅員や目的地に向かうまでのターン回数が影響していることを示している。そこで、本研究では快適な街路が形成され、ストレスが小さい場合は、移動コストが小さいと仮定し、分析を進める。まず、歩行時のストレスと歩道幅員や傾斜などの街路構成要素との関係を明らかにする。また、ストレス量を街路構成要素で説明するモデルを構築し、対象地域の全街路の歩行時ストレス量を推計する。その後、移動コストにストレス量を重みづけし、立ち寄りやすさを評価することで、立ち寄りにくい地域がないか確認していく。また、立ち寄りやすさを改善するにはどの道路を整備していくべきかについて考察を進める。

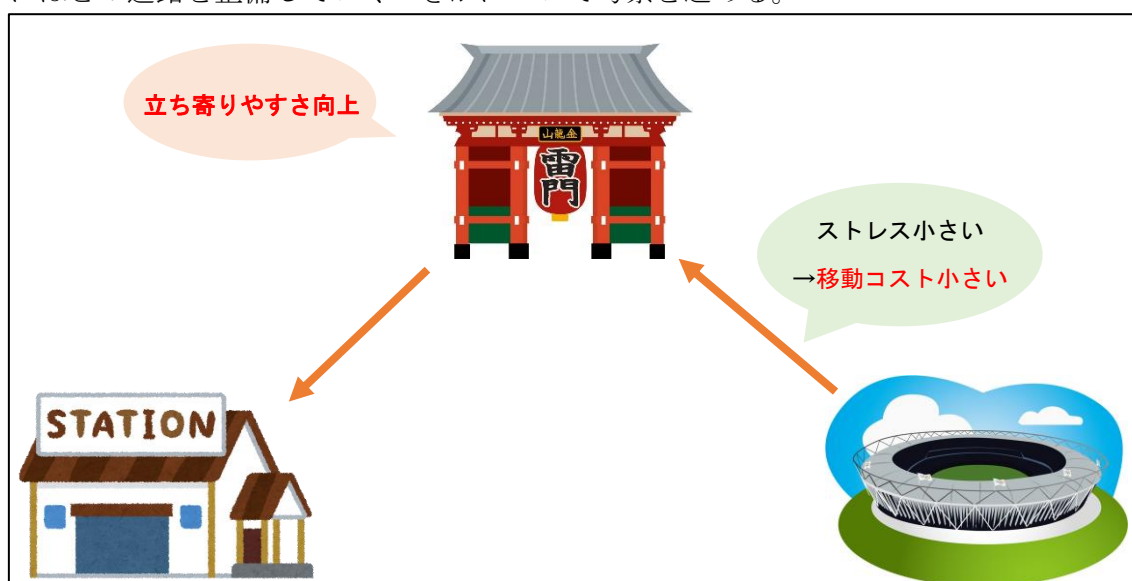


図 1-5 分析の概念図

1-3 既往研究

本研究の位置付けを既往研究のレビューをもとに述べていく。本研究では歩道幅員や傾斜などの街路の空間構成要素が歩行者に与えるストレスに関して分析を進める。また、競技会場から周辺観光施設への立ち寄りやすさについて街路ネットワーク分析を用いて考察していく。そのため、既往研究は「歩行時のストレス評価」に関する研究と「街路ネットワーク分析」に関する研究の2つに着目し、レビューを行った。これらをレビューした結果を以下に述べていく。

1-3-1 歩行時のストレス評価に関する研究

- ・「身体エネルギー消費量および心理的負荷を考慮した歩行行動評価に関する研究」⁴⁾

本多 竜, 塚口 博司, 里見 潤, 坂本 剛健(2009)『交通工学』, Vol. 44, No. 4, pp86-96, 交通工学研究会

目的: 歩行者のエネルギー消費量と心拍データより歩行時の身体的・心理的な負荷を客観的に評価することを目的としている。

概要: 歩行者のエネルギー消費量と心拍データを取得し、歩行時のストレス値を算出している。心理的なストレス値を心拍データから交感神経の活性化度を示す LF/HF を算出し、評価を行っている。また、歩行状態とストレス値を比較し、時間制約がある状態の場合は「あせり」や「緊張」といった心理的な意識がストレス値に有意に影響を与えていることを明らかにしている。

- ・「街路歩行時に高齢者が感じる負担—シルバーカーの有無による差異—」⁵⁾

柴田 史奈, 丹羽 由佳里, 大家 弘也, 伊藤香織(2017)『日本建築学会計画系論文集』, Vol. 82, No. 732, pp451-457, 日本建築学会

目的: シルバーカーの有無に着目し、高齢者が歩行時に負担とを感じるバリアとその特徴を明らかにすることを目的としている。

概要: 高齢者を対象に歩行実験を実施し、実験ルートの負担度に関するアンケートを解答してもらっている。アンケートの結果から、「負担に感じていない=0, 負担に感じている=1」と負担度を分類し、目的変数を負担度、説明変数を歩道幅員や段差などの空間構成要素としたロジスティック回帰分析を行っている。分析の結果、通常歩行の場合、歩道幅員・車道の有無・段差・舗装状況が有意に影響していることが明らかになった。また、シルバーカーを使用している場合は車道の有無・段差が負担度に影響していることが示されている。

・「地下鉄駅内外の空間バリアがベビーカー利用者の駅アクセスに与える影響」⁶⁾

丹羽 由佳里, 高橋 真有, 伊藤 香織(2016)『都市計画学会論文集』, Vol. 51, No. 3, pp1220-1225, 日本都市計画学会

目的: ベビーカー利用者の駅アクセスを定量的に評価し、快適な移動のための指標を検討することを目的としている。

概要: ベビーカー利用者を対象に移動(歩行)に関するアンケートを実施した。その結果、ベビーカーを利用するようになってからEVを探す機会が増加したこと、歩道幅員が狭く感じるようになったこと、歩道の段差や傾きが気になるようになったことなど物理的な要因に関する回答が多く得られた。また、歩道橋や階段等を交通不可、坂道等の傾斜がある街路の場合は歩行速度に重みをつけ、地下鉄駅のアクセス評価を行った。その結果、EVが設置してある地下鉄駅と他の駅のアクセス性に大きく差があることがわかった。

・「駅構内通路歩行時における混雑によるストレスを緩和・軽減させる空間デザインに関する研究」⁷⁾

松島 一剛, 長澤 夏子, 渡辺 仁史(2010)『日本建築学会関東支部研究報告集』, No. 80, pp225-228, 日本建築学会

目的: 屋内歩行時における混雑によるストレスを生理学的な側面から計測し、ストレスを緩和・軽減させる空間計画の特性を明らかにすることを目的としている。

概要: 駅通路において歩行実験を実施し、その際のストレスを生理反応から定量的に計測している。ストレス計測には心拍測定を唾液測定の一つを手法として用いている。また、同時に気分評価アンケートを実施し、生理反応との関連性について言及している。実験の結果、混雑度のみではなく、空間の物理的条件や空間用途の違いによって、ストレスが変化することがわかった。

・「歩行行動の欲求段階に基づく歩行空間の質の知覚的評価手法の構築」⁸⁾

中村 一樹, 紀伊 雅敦(2016)『土木学会論文集 D3(土木計画学)』, Vol. 72, No. 5, pp861-870, 土木学会

目的: 歩行行動における知覚的要素を用いて中心市街地の歩行空間の質を評価することを目的としている。

概要: 「道がわかりやすい場合、実際よりも距離が短く感じる」など、人間が意識的に感じている要素を対象に歩行空間の質を評価している。また、中林らは歩行空間の質を利便性・快適性・安全性の三要素を用いて説明している。歩行空間の質の評価モデルを構築するためアンケート調査を実施し、その結果から、若年層が「移動時間」など利便性を、中年層が「街並み」や「休憩する場所」など快適性を、高齢層が「体の負担」などの利便性を重要と感じていることがわかった。

1-3-2 街路ネットワーク分析に関する研究

・「ネットワークの閉路特性に着目した駅周辺街路の回遊性分析とその適用—JR 中央線 9 駅の駅周辺街路ネットワークを対象として—」⁹⁾

永杉 博正, 羽藤 英二 (2014) 『都市計画学会論文集』, Vol. 49, No. 3, pp711-716, 日本都市計画学会

目的: ネットワーク分析を用いて、駅周辺の回遊性を定量的に評価し、駅を中心とした回遊ネットワークの効果的な整備指針を示すことを目的としている。

概要: JR 中央線の 9 駅を対象として、駅中心の回遊行動を想定し、ネットワーク分析を行っている。永杉らは交差点をノード、街路をリンクとした街路ネットワークを構築し、各交差点の媒介中心性を算出している。媒介中心性とは、ネットワーク内のある 2 点を結ぶ最短経路上に位置する度合いを示しており、評価値が高いほど、ハブとしての機能を持っていると仮定している。媒介中心性が分散していることに加えて、駅から駅へ戻ってくる周遊ルートが多いほど、回遊性が高い街路であるとし、分析を行っている。対象駅の中でも、吉祥寺駅が媒介中心性の分散が大きく、回遊しやすい面的なポテンシャルを持っていると考察している。また、道路整備前後の街路においてそれぞれを対象としてネットワーク分析を行い、整備後に回遊性が向上していることを定量的に示している。

・「行動データに基づく歩行者行動特性を考慮した街路ネットワーク分析—渋谷駅歩行圏を対象として—」¹⁰⁾

福山 祥代, 羽藤 英二 (2012) 『都市計画学会論文集』, Vol. 47, No. 1, pp62-67, 日本都市計画学会

目的: 街路ネットワーク分析を用いて、歩行行動と都市の特性の関係を捉えることを目的としている。

概要: 携帯電話の GPS データから行動データを入手し、分析に用いている。入手したデータから移動の出発点・終着点や移動距離を算出し、行動パターンの分類を行っている。また、街路ネットワークを構築し、各街路の媒介中心性を算出している。上述の行動データと媒介中心性を比較したところ、媒介中心性の評価値が高い街路ほど、経路として選択されることが多く、歩行者量と媒介中心性の相関が確認されている。

・「実距離を考慮した中心性指標の提案と重要観光スポット抽出への応用」¹¹⁾

伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 武藤 伸明, 池田 哲夫, 風間 一洋(2015)『人工知能学会論文誌』, Vol. 30, No. 6, pp703-712, 人工知能学会

目的：実距離を考慮した新たな中心性指標を提案することを目的としている。

概要：都市計画等の分野において街路ネットワークを構築し、中心性指標を用いた研究が行われてきた。しかし、中心性指標は街路の実距離を考慮していないという課題が存在する。そこで、伏見らは実距離を考慮した中心性指標の提案に取り組んでいる。中心性指標の媒介中心性の場合、移動する際に、任意の地点を通過する最短経路数を用いているが、伏見らが提案した「回遊中心性」は任意の地点を通過する最短経路の距離を用いて分析を行っている。回遊中心性の場合、ある地点を立ち寄った時の移動距離が短いほど、評価値が高くなる指標となっている。また、伏見らは東京都の街路ネットワークを構築し、回遊中心性を用いて分析を行い、どの地域が立ち寄りやすく、観光スポットとして重要かについて考察を行っている。

・「中心市街地の空間構成と歩行者回遊行動の分析フレームワーク」¹²⁾

溝上 章志, 高松 誠治, 吉住 弥華, 星野 裕司(2012)『土木研究学研究・論文集』, Vol. 68, NO. 5, pp363-374, 土木学会

目的：スペースシンタックス理論を用いて、街路空間構成が歩行者量に与える影響について検討することを目的としている。

概要：溝上らはBill Hiller らが提唱したスペースシンタックス理論を用いて、街路空間構成を定量的に評価している。スペースシンタックス理論は視覚的に見通せる範囲をリンク（アクシャルライン）に置き換え、街路ネットワークを構築し、分析を行う手法である。溝上らは熊本市を対象に街路ネットワークを構築し、各アクシャルラインのInt値を算出している。また、アクシャルラインのInt値と歩行者量の相関分析を行い、正の相関があることを確認している。また、専門小売店や衣料品店が建ち並ぶアクシャルラインはInt値が高い傾向であることを示した。

1-3-3 既往研究レビューまとめ

歩行時のストレス評価に関する研究では、実際に歩行実験を行い、各街路のストレスや快適性を評価している研究が多く確認された^{4) 5) 7)}。また、ストレスを定量的に評価し、ストレスを目的変数、街路構成要素（歩道幅員や段差など）を説明変数とした重回帰分析やロジスティック回帰分析を行い、ストレスと街路構成要素との関係について言及している研究が確認された⁷⁾。

ストレスの評価方法としては、アンケートを用いて心理量を算出する方法⁵⁾と心拍データや発汗状態・脳波データなどを用いて生理量を算出する方法⁷⁾の2つの方法が確認された。アンケートによる心理量測定の場合、ストレスなどの総合評価のみならず、歩道幅員の広さや傾斜による体の負担感に関する項目を加えることでより詳細な評価を行うことが可能である。しかし、被験者の主観的な評価となるため、測定誤差を伴うことを考慮しなければならないというデメリットが存在する。それに対して、生理量測定の場合は、心拍や脳波を測定するため、客観的な評価が可能で、測定誤差も小さい評価方法といえる。また、ストレス評価の方法としては心拍データを用いた研究が多く確認されており、他の生理量測定と比べ、再現性が高く、分析に必要なデータ量も少ないため被験者の負担が少ないといった利点がある。しかし、実験の環境によって評価値が大きく異なるため、実験の条件に関して十分に考慮する必要がある。

本研究では、歩行時のストレスを推計するモデルを構築し、対象地域の全街路のストレス量を算出していきたい。また、ストレス評価方法はよりストレスを定量的かつ客観的に評価できる手法が望ましい。上記の点を考慮すると、ストレス評価方法としては、生理量測定が本研究では適していると考えられる。また、生理量測定の方法の中でも、再現性を考慮すると、心拍データを用いた方法が望ましいといえる。

表 1-1 ストレス評価方法

	利点	欠点
心理量測定 (アンケート)	・複数の質問項目を設けることで 詳細な評価 が可能	・測定誤差が大きい
生理量測定 (心拍や脳波データ)	・ 客観的な評価 が可能 ・測定誤差が小さい	・実験条件によって評価値が異なる

街路ネットワーク分析に関する研究では、街路ネットワークを構築し、分析を行う手法が多く確認された。その中でも、媒介中心性などの中心性指標を用いた分析⁹⁾とスペースシンタックス理論に基づき Int 値を算出する分析¹²⁾が確認された。中心性指標を用いた分析では、媒介中心性を用いて街路の回遊性を評価している研究が多く確認された。また、媒介中心性に距離の概念を加えた「回遊中心性」といった新しい指標が提案されており、ある地点の立ち寄りやすさに関する評価が可能となっている¹¹⁾。スペースシンタックス理論を用いた分析では、Int 値を算出し、街路構成要素や歩行者量との関係について言及している研究が確認された¹²⁾。Int 値はアクセスしやすい街路が高い評価になりやすい傾向にあり、アクセシビリティや歩行者量に関して分析を行う場合には、手法として適しているといえる。

本研究では、対象地域における立ち寄りやすさを評価していくことを目的の一つとして定めている。上記の点を考慮すると、街路ネットワーク分析の方法として、中心性指標が適していると考えられる。また、中心性指標の中でも、距離を組み込んで分析することが可能な回遊中心性を基本とした評価方法を用いるべきと思われる。

表 1-2 街路ネットワーク分析

	特徴
中心性指標 (媒介中心性・回遊中心性)	<ul style="list-style-type: none"> ・街路をリンク、交差点をノードとしてネットワークを構築 ・回遊性や立ち寄りやすさを評価
スペースシンタックス理論 (Int 値)	<ul style="list-style-type: none"> ・見通せる範囲をリンク (アクシャルライン) としてネットワークを構築 ・歩行者量やアクセシビリティに関して分析可能

1-4 本研究の位置付け

歩行時のストレス評価を行っている研究として、柴田ら（2017）⁵⁾の研究が挙げられる。高齢者を対象に、歩行実験を行い、歩行時の負担度と街路構成要素との関係をロジスティック回帰分析を用いて分析しているが、負担度はダミー変数（負担に感じていない=0, 負担に感じている=1）であり、定量的評価を行っていない。また、松島ら（2010）⁷⁾は歩行時のストレスを生理的測定で定量的に評価しているが、ストレスを推計するモデルは構築していない。上述した点を考慮すると、本研究では、心拍データを用いてストレスを定量的に評価し、ストレスを推計するモデルを構築するといった点に新規性があるといえる。また、モデル式を構築することにより、実験を行っていない街路に関してもストレス量を推計することが可能となる。本研究では競技会場が立地している地域を対象として分析を行うが、モデル式を用いて他の地域における街路のストレス量を推計することが可能であり、汎用性のあるモデル式を提案することにおいても、学術的意義があるといえる。

街路ネットワーク分析を用いて回遊性や立ち寄りやすさの評価を行っている研究として、永杉ら（2014）⁹⁾の研究が挙げられる。媒介中心性を用いて分析を行い、評価値の分散度合いから回遊性を評価している。また、伏見ら（2015）¹¹⁾は回遊中心性を用いて分析を行い、立ち寄りやすい地点を抽出している。本研究では、中心性指標の移動コストに歩行時のストレスを用いて重みづけを行い、街路環境を考慮して分析を行っていく。街路環境を詳細に反映した街路ネットワーク分析は行われておらず、本研究の新規性といえる。

1-5 研究の構成

本研究では、まず、第1章にて東京オリンピック・パラリンピック大会に関する都市の整備計画について整理し、研究の目的を明らかにする。第2章では大会後の競技会場の運用や立地する地域に関して情報を整理し、対象地域を決定する。第3章では歩行時ストレス計測実験に関して、既往研究を参考に条件や実験環境について整理する。また、実験結果の基本統計量を整理する。第4章では実験結果からストレスを目的変数、街路構成要素を説明変数とした歩行時ストレス評価モデルを構築し、対象地域の全街路の単位ストレス量を推計する。第5章では、算出した単位ストレス量を考慮し、ネットワーク分析を行い、対象地域の立ち寄りやすさを定量的に評価する。第6章では、調査・分析結果を整理し、考察を行う。

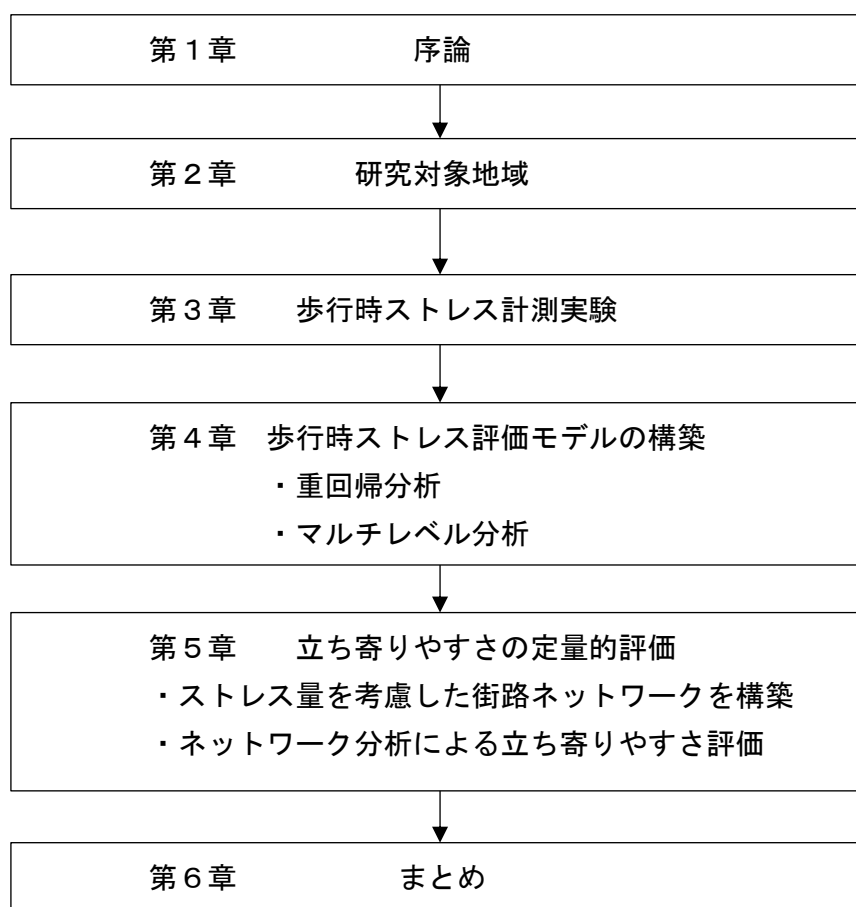


図 1-6 研究の構成

参考文献

- 1) 東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会公式ホームページ
<https://tokyo2020.org/jp/> 最終閲覧日 平成 30 年 12 月 12 日
- 2) 神宮外苑地区地区計画 <http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/>
東京都都市整備局 平成 25 年 6 月 策定
- 3) 東京都道路バリアフリー推進計画 <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/>
東京都建設局 平成 28 年 3 月 策定
- 4) 本多 竜, 塚口 博司, 里見 潤, 坂本 剛健(2009)「身体エネルギー消費量および心理的負荷を考慮した歩行行動評価に関する研究」『交通工学論文集』, Vol. 44, No. 4, pp86-96, 交通工学研究会
- 5) 柴田 史奈, 丹羽 由佳里, 大家 弘也, 伊藤香織(2017)「街路歩行時に高齢者が感じる負担—シルバーカーの有無による差異—」『日本建築学会計画系論文集』, Vol. 82, No. 732, pp451-457, 日本建築学会
- 6) 丹羽 由佳里, 高橋 真有, 伊藤 香織(2016)「地下鉄駅内外の空間バリアがベビーカー利用者の駅アクセスに与える影響」『都市計画学会論文集』, Vol. 51, No. 3, pp1220-1225, 日本都市計画学会
- 7) 松島 一剛, 長澤 夏子, 渡辺 仁史(2010)「駅構内通路歩行時における混雑によるストレスを緩和・軽減させる空間デザインに関する研究」『日本建築学会関東支部研究報告集』, No. 80, pp225-228, 日本建築学会
- 8) 中村 一樹, 紀伊 雅敦(2016)「歩行行動の欲求段階に基づく歩行空間の質の知覚的評価手法の構築」『土木学会論文集 D3(土木計画学)』, Vol. 72, No. 5, pp861-870, 土木学会
- 9) 永杉 博正, 羽藤 英二(2014)「ネットワークの閉路特性に着目した駅周辺街路の回遊性分析とその適用—JR 中央線 9 駅の駅周辺街路ネットワークを対象として—」『都市計画学会論文集』, Vol. 49, No. 3, pp711-716, 日本都市計画学会

-
- 10) 福山 祥代, 羽藤 英二 (2012) 「行動データに基づく歩行者行動特性を考慮した街路ネットワーク分析—渋谷駅歩行圏を対象として—」『都市計画学会論文集』, Vol. 47, No. 1, pp62-67, 日本都市計画学会
- 11) 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 武藤 伸明, 池田 哲夫, 風間 一洋 (2015) 「実距離を考慮した中心性指標の提案と重要観光スポット抽出への応用」『人工知能学会論文誌』, Vol. 30, No. 6, pp703-712, 人工知能学会
- 12) 溝上 章志, 高松 誠治, 吉住 弥華, 星野 裕司 (2012) 「中心市街地の空間構成と歩行者回遊行動の分析フレームワーク」『土木研究学研究・論文集』, Vol. 68, NO. 5, pp363-374, 土木学会
- 13) 大佛 俊泰, 田中 あずさ (2017) 「経路選択に関わる要因分析と歩行者行動のモデル化」『日本建築学会計画系論文集』, Vol. 82, No. 734, pp895-903, 日本建築学会

第 2 章

研究对象地域

第2章 研究対象地域

2-1 東京オリンピック・パラリンピック競技会場の概要

2-2-1 競技会場の立地

2020年の競技会場は、新国立競技場や代々木体育館等が位置する1964年の東京大会のレガシーを引き継ぐ「ヘリテッジゾーン」と晴海や有明などの臨海部における新規開発が進められる「東京ベイゾーン」の2つのゾーンから構成されている¹⁾ (図2-1)。ヘリテッジゾーンでは、新国立競技場・東京体育館・代々木競技場の3施設が集中して立地しているが、それと比較して、他の施設は分散して立地している。東京ベイゾーンでは有明アリーナ・有明体操競技場・海の森水上競技場など江東区に集中的に立地している。



図2-1 競技会場立地状況

出典：東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会公式ホームページ¹⁾

2-1-2 競技会場の基本情報

東京都内に立地する競技会場は24施設である¹⁾。その内、新設会場が7施設、仮設が6施設、既存会場が11施設（観客席を仮設で増設するものが2施設）となっている（表2-1）。収容人員は1万人前後の施設が多いが、新国立競技場（68000人収容）や東京スタジアム（50000人収容）など大規模な施設も用いられている。また、大会後は観客席を取り壊し、規模を縮小する施設や展示場にコンバージョンし活用していく施設が複数存在し、大会後の活用を事前に計画している。

表2-1 東京オリンピック・パラリンピック競技会場一覧（参考文献(1)より作成）

ID	オリンピック会場名	所在地	収容人員	新設	仮設	既存	大会後の利用	補足
1	新国立競技場	新宿区霞ヶ丘10-2	68,000					
2	東京体育館	渋谷区千駄ヶ谷一丁目17-1	10,000					
3	国立代々木競技場	渋谷区神南2-1-1	13,000					
4	日本武道館	千代田区北の丸公園2-3	14,000					
5	皇居外苑	千代田区皇居外苑1-1	1,000					観客席を仮設で増設
6	東京国際フォーラム	千代田区丸の内3-5-1	6,500					
7	国技館	墨田区横網1-3-28	11,000					
8	有明アリーナ	江東区有明1-9	15,000					
9	有明体操競技場	江東区有明1-7-4	12,000					大会後は展示場として利用
10	有明BMXコース	江東区有明1-7	5,000					
11	有明テニスの森	江東区有明2-22-2	10,000					
12	お台場海浜公園	港区台場1	10,000					
13	潮風公園	品川区東八潮1.2	12,000					
14	青海アーバンスポーツ会場	江東区有明青海1	未定					
15	大井ホッケー競技場	品川区八潮4	10,000					
16	海の森クロスカントリーコース	江東区青海3	20,000					大会後は公園として利用
17	海の森水上競技場	江東区青海3	14,000					
18	カヌー・スラローム会場	江戸川区臨海町6-1	15,000					観客席取り壊し
19	アーチェリー会場(夢の島公園)	江東区夢の島	7,000					観客席を仮設で増設
20	オリンピックアクアティクスセンター	江東区辰巳2-1-35	15,000					大会後は観客席を5,000席に縮小
21	東京辰巳国際水泳場	江東区辰巳2-8-10	5,000					
22	馬事公苑	世田谷区上用賀2-1-1	14,000					観客席を仮設で増設
23	武蔵野の森総合スポーツプラザ	調布市西町290-11	10,000					
24	東京スタジアム	調布市西町376-3	50,000					



新設会場（新国立競技場）



既存会場（東京体育館）

図2-2 競技会場例

出典：東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会公式ホームページ¹⁾

2-2 対象地域

2-2-1 対象地域の選定

東京ベイゾーンは現在、新規施設やインフラの整備が行われており、立ち入りが困難な状況である。そのため、本研究では歩行時ストレス計測実験を行うことを考慮すると実験が可能な既成市街地が形成されているヘリテッジゾーンが研究対象地域として望ましい。

また、東京オリンピック・パラリンピックでは大会開催期間に加えて大会後の施設利用が促進されることが望まれる。そのため、大会期間後に恒久的に利用される競技会場を研究対象として選定する。

また、競技会場周辺地域における観光施設や商業施設との相互利用が望まれるため、利用者数が多いなどより周辺地域への影響が大きい競技会場を研究対象として選定するのが適当である。

上述した理由から図 2-3 の 3 点を調査対象施設の選定条件とする。選定条件の「ヘリテッジゾーンに位置する」、「大会後も恒久的に利用される」、「利用者数が多い」の 3 点を考慮すると、対象施設の候補として表 2-1 の ID:1-3 の施設が適している。そこで、本研究では新国立競技場・東京体育館・代々木競技場を対象施設として選定する。

【選定条件】

- ・ヘリテッジゾーンに位置する
- ・大会後も恒久的に利用される
- ・利用者数が多い

図 2-3 調査対象施設の選定条件

次に対象範囲を定めていく。本研究では、競技会場の周辺施設（観光施設等）を立ち寄る行動を想定し、分析を進めていく。そのため、対象範囲に関しては回遊距離を定めて、決定していく。小谷ら（2017）²⁾ は都心商業地域を対象に歩行者の回遊行動に関して調査を行っている。調査の結果、調査対象者は 20 代が 40% と最も多く、回遊距離の平均値は約 1600m であることが判明した。また、荒川ら（2002）³⁾ は名古屋市を対象に歩行者の回遊行動に関して調査を行っている。調査の結果、調査対象者は 20 代・30 代が最も多く、回遊距離の平均値は約 2000m であることが判明した。

回遊行動に関する既往研究を確認すると、回遊距離は概ね 1600m～2000m であることがわかる。また、対象施設である新国立競技場・東京体育館・代々木競技場は渋谷区

に立地していることから、都心商業地域を対象に調査を行った、小谷ら（2017）²⁾ が示した回遊距離を参照すべきと考えられる。そこで、上記の3施設の到達圏を1600mに設定し、図示した（図2-4）。その結果、図2-4赤枠内の渋谷区神宮前並びに千駄ヶ谷地区がどの施設からおおむね回遊距離圏内にあることが分かった。そこで、本研究では、渋谷区神宮前地区・千駄ヶ谷地区を対象に、分析を進めていくこととする。

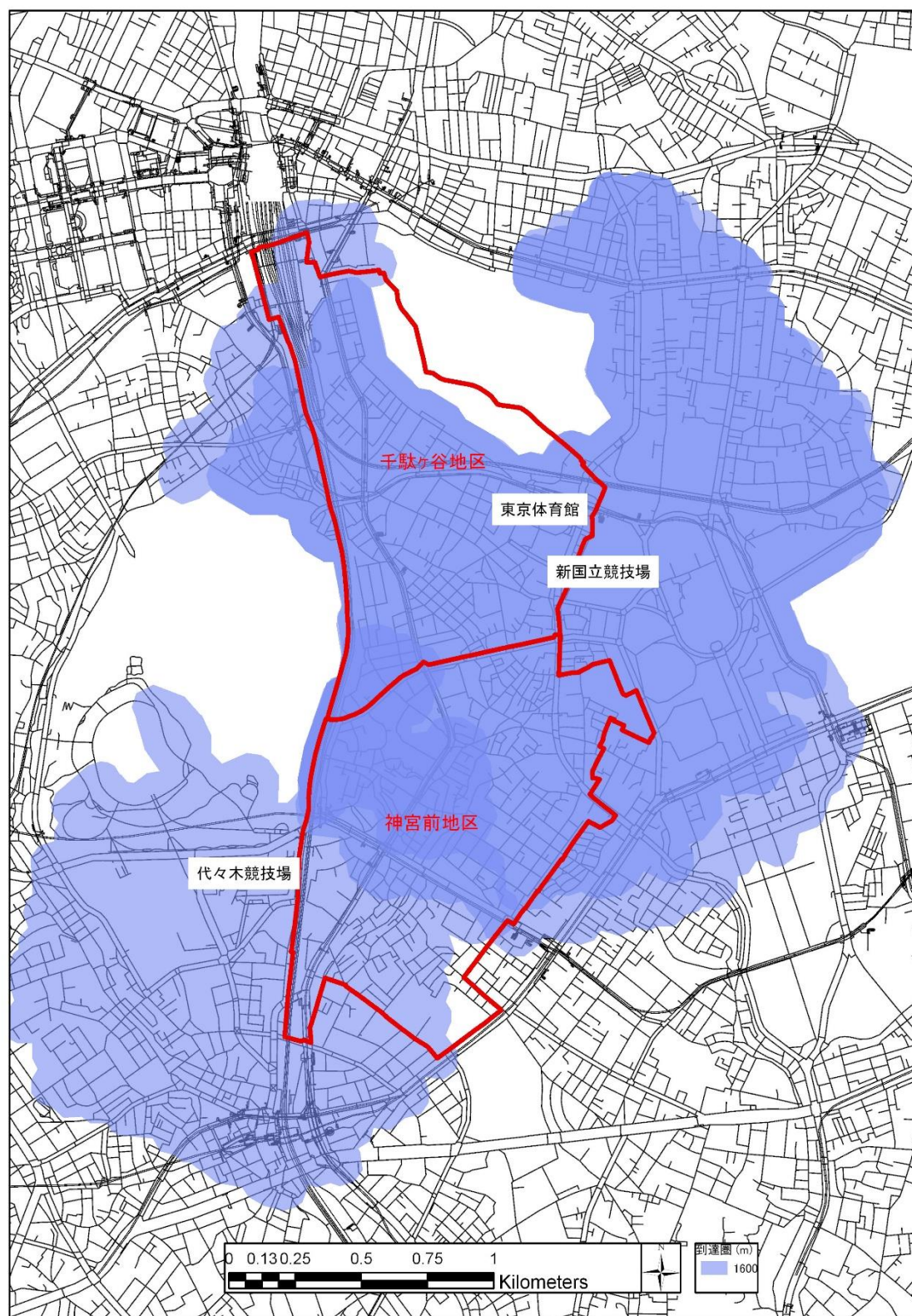


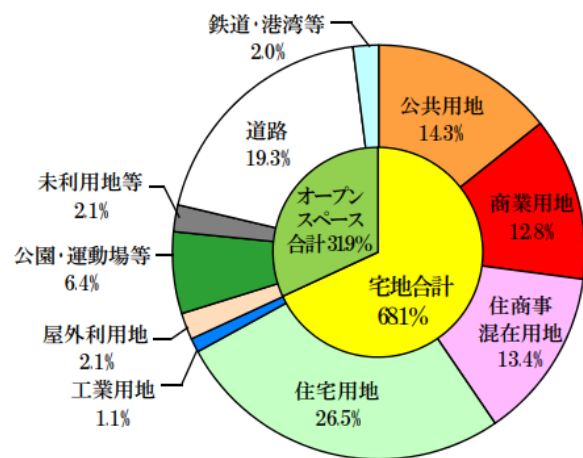
図 2-4 競技施設の回遊距離圏

2-2-2 対象地域の概要

渋谷区神宮前地区は商業施設が集積するにぎわいのある地区である。同地区にはラフォーレ原宿や表参道ヒルズ、東急プラザ表参道など様々な著名な商業施設が立ち並んでいる。渋谷区の用途地域（図 2-6）を確認すると、表参道や明治通りが商業地域に指定されていることがわかる。また、渋谷区の用途別建物現況（表 2-2）を確認すると、商業系建物の延床面積の構成比は 32.3%と最も高いことがわかる。

千駄ヶ谷地区は、閑静な住宅地が広がる地域となっている。渋谷区の用途地域を確認すると、第二種中高層住居専用地域や第一種住居地域、第二種住居地域に指定されており、住宅が立ち並ぶ地域が形成されている。

神宮前・千駄ヶ谷地区を全体で確認すると、商業施設と住宅が混在した地域であるといえる。また、用途別建物割合では、商業系建物の延床が大きな割合を占めていたが、土地利用割合（図 2-5）を確認すると、商業用地が 12.8%、住商事混在用地が 13.4%に対して、住宅用地が 26.5%と非常に大きな割合を占めており、意外にも住宅が多く建ち並んでいる地域であることがわかる。

図 2-5 土地利用割合⁴⁾表 2-2 用途別建物現況⁴⁾

	棟数 棟	構成比 %	建築面積 万㎡	構成比 %	延床面積 万㎡	構成比 %	平均規模 ㎡/棟	平均階数 階
合計	37,707	100.0	580.4	100.0	2,535.6	100.0	672	4.4
公共系建物小計	1,377	3.7	68.4	11.8	263.6	10.4	1,914	3.9
官公庁施設	113	0.3	5.2	0.9	23.8	0.9	2,106	4.6
教育文化施設	1,027	2.7	53.0	9.1	190.6	7.5	1,856	3.6
厚生医療施設	202	0.6	8.8	1.5	44.5	1.8	2,203	5.1
供給処理施設	35	0.1	1.4	0.3	4.7	0.2	1,343	3.4
商業系建物小計	5,017	13.3	127.0	21.9	820.6	32.3	1,636	6.5
事務所施設	3,056	8.1	81.9	14.1	586.7	23.1	1,920	7.2
専用商業施設	1,682	4.5	29.2	5.0	144.8	5.7	861	5.0
宿泊・遊興施設	231	0.6	5.9	1.0	57.8	2.3	2,502	9.8
スポーツ・興行施設	48	0.1	10.0	1.8	31.3	1.2	6,521	3.1
住商事混在施設	8,532	22.6	133.9	23.1	674.2	26.6	790	5.0
住宅系建物小計	22,390	59.4	239.5	41.2	747.3	29.5	334	3.1
独立住宅	14,800	39.3	110.4	19.0	244.3	9.6	165	2.2
集合住宅	7,590	20.1	129.1	22.2	503.0	19.9	663	3.9
工業系建物小計	391	1.0	11.6	2.0	29.9	1.2	765	2.6
専用工場	41	0.1	1.1	0.2	3.5	0.2	854	3.2
住居併用工場	190	0.5	1.9	0.3	5.2	0.2	274	2.7
倉庫運輸関係施設	160	0.4	8.6	1.5	21.2	0.8	1,325	2.5

注：平均規模＝延床面積／棟数 平均階数＝延床面積／建築面積

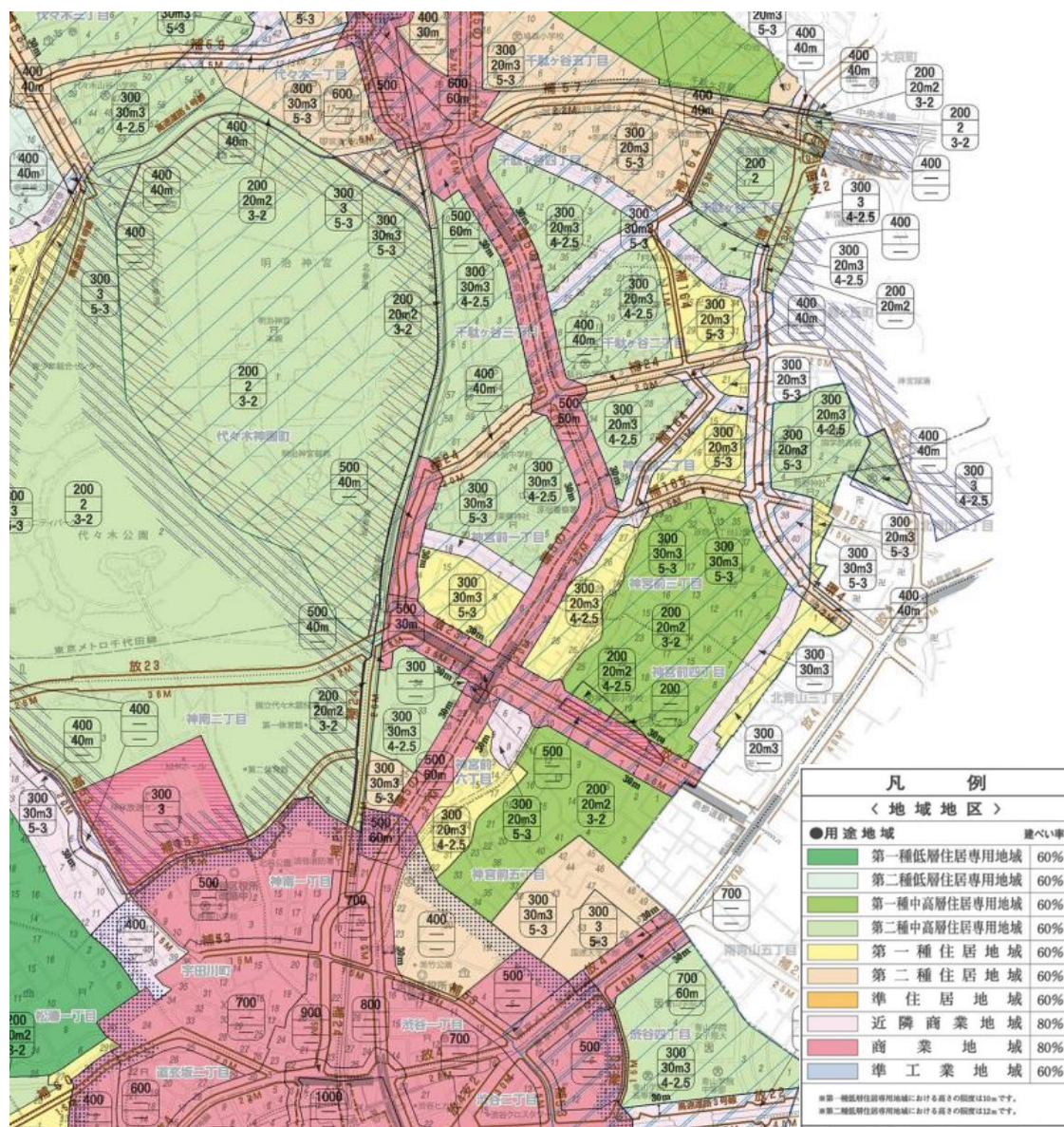


図 2-6 渋谷区用途地域
 出典：渋谷区都市計画図⁵⁾

渋谷区の幅員別道路現況（図2-7）を確認すると、表参道や明治通りなどの国道や都道に関しては、12m以上が確保されており、十分に快適な交通環境が整備されているといえる。しかし、表参道北側の神宮前地区や千駄ヶ谷地区は4m未満の道路が多く、狭い道路環境となっていることがわかる。特に、千駄ヶ谷地区の場合、住宅地等の既成市街地が形成されており、細街路が多く存在していることが特徴である。また、歩道の設置状況に関しては調査が行われておらず、データが整備されていない状態である。

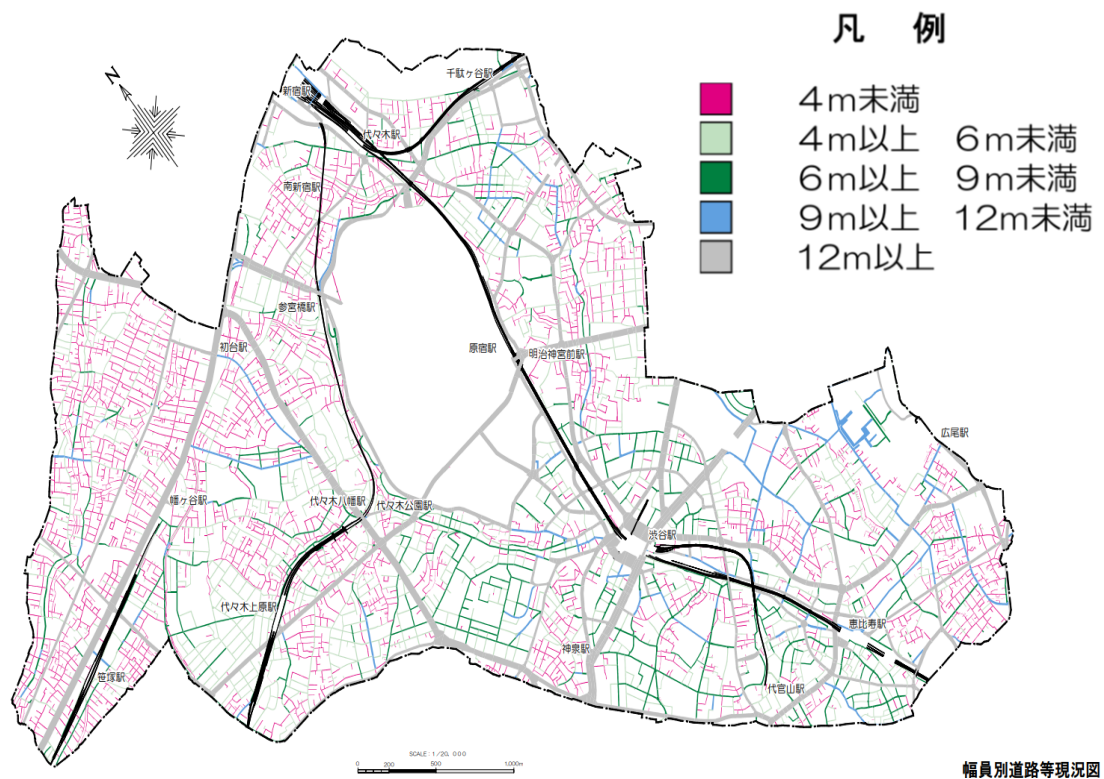


図2-7 幅員別道路現況

出典：「渋谷区の土地と建物」－平成23年度土地利用現況調査結果の概要－⁴⁾

参考文献

- 1) 東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会公式ホームページ
<https://tokyo2020.org/jp/> 最終閲覧日 平成30年12月12日
- 2) 小谷 通泰, 寺山 一輝(2017)「都心商業地域における歩行者による回遊行動の実態と要因分析ー神戸市都心部を対象としてー」『都市計画学会論文集』, Vol. 52, No. 3, pp. 239-246, 日本都市計画学会
- 3) 荒川 雅哉, 兼田 敏之(2002)「名古屋都心域における回遊行動の冗長性に関する分析」『日本建築学会計画系論文集』, Vol. 67, No. 556, pp. 227-233, 日本建築学会
- 4) 「渋谷区の土地と建物」ー平成23年度土地利用現況調査結果の概要ー
https://www.city.shibuya.tokyo.jp/kankyo/toshi_keikaku/tochi_tatemono23.html
1 渋谷区都市計画課都市計画係 策定 最終閲覧日 平成30年12月14日
- 5) 渋谷区都市計画図
https://www.city.shibuya.tokyo.jp/kankyo/toshi_keikaku/toshi_soudan.html
渋谷区都市計画課都市計画係 策定 最終閲覧日 平成30年12月14日

第 3 章

歩行時ストレス計測実験

第3章 歩行時ストレス計測実験

3-1 ストレス量の算出方法

3-1-1 心拍変動の解析

近年ではストレスを評価する方法として、心拍変動や発汗状態、脳波データを解析する手法が用いられている。その中でも、心拍変動を解析する手法は、再現性が高く、多くの研究で活用されている。石田ら（2016）¹⁾ は心拍変動の解析を用いてストレス評価を実施し、歩行空間における車いす使用者の心理的ストレスと歩行者交通量や歩行者とのすれ違い等との関係性について明らかにしている。実際に、車いすを使用した歩行実験を行い、心拍間隔のデータとパーソナルスペース（以下 PS）に侵入した人数を比較したところ、一分当たりの PS 侵入者数が増加するにしたがって、心拍間隔が短くなる傾向にあり、心理的ストレスが増加していることがわかった。また、鈴木ら（2014）²⁾ は自転車走行時のストレスを心拍変動の解析を用いて評価し、ストレスと街路構成要素の関係性について言及している。実際に、自転車を使用した走行実験を行い、心拍間隔データからストレスレベルを算出し、ストレスレベルを目的変数、街路構成要素を説明変数とした重回帰分析を行ったところ、走行位置の幅員や交差点頻度、高頻度駐車場（コンビニエンスストアの駐車場に面している箇所数）がストレスに有意に影響していることがわかった。既往研究を確認すると、いずれも心拍間隔データを用いて解析を行っている。そこで、次に、心拍間隔データについて説明を進める。

心拍データを心電図として表すと、図 3-1 のようなグラフが取得できる。その時、様々な波が観測されるが、その中でも、最もピークを迎える波を R 波という。この R 波と R 波の間隔を心拍間隔（RRI : R-R Interval）として計測する³⁾。観測される心拍間隔は一定ではなく、身体の状態や心理的ストレスによって変動する。その特性を利用し、心拍間隔の変動を解析し、ストレス量を算出する。ストレス量の指標としては主に LF/HF と LP 面積の二点の指標が用いられている。両指標ともに、心拍変動を解析し、ストレス量を評価する点は同一だが、LF/HF は交感神経の活性化度、LP 面積は心拍間隔のばらつきに着目しているという点が異なる。元来、LF/HF をストレス指標として用いる研究が数多く行われてきたが、近年、新しいストレス指標として提案されたのが LP 面積である。

以降、LF/HF・LP 面積の両指標に関して基本情報を整理し、本研究においてどちらの指標が適しているかについて検討を進める。

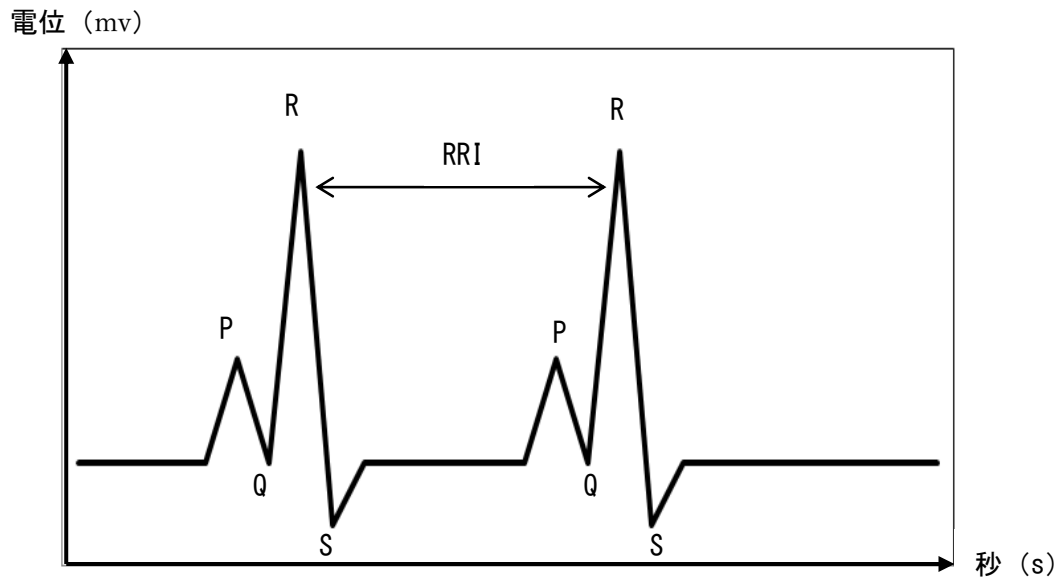


図 3-1 心拍間隔イメージ (RRI : R-R Interval)

3-1-1-1 LF/HF の概要

LF/HF は心拍間隔のデータから高周波帯 (HF : High Frequency) と低周波帯 (LF: Low Frequency) を抽出し、その比率を算出する指標である。身体はリラックス状態の時は副交感神経が働き、HF 成分と LF 成分の両方が顕在化する。それに対し、ストレス状態の時は交感神経が働き、LF 成分が有意に顕在化する。そのため、交感神経・副交感神経の両方が影響している LF 成分から、副交感神経のみ影響している HF 成分を除いた LF/HF が交感神経の活性化度を表し、ストレス指標として算出される。

実際に LF/HF を算出する手順は図 3-3 のようになる。まずは、心拍間隔データをフーリエ変換し、高周波帯 (0.15~0.40Hz) と低周波帯 (0.04~0.15Hz) に分類する。その後、図 3-4 のように、それぞれのパワースペクトルを積分し、グラフ上の面積を算出する。そして、算出した面積の比率を LF/HF として算出する。

分析に必要なデータ量だが、先行研究を確認すると、最短で 4 分の計測データを用いて分析を行っている³⁾。また、LF/HF の課題点として、被験者に心理的負荷を与えた場合の結果が実験ごとに大きく異なることがあり、やや再現性に欠けること、データ数が 2 の整数乗でなければならないことなどが挙げられている。

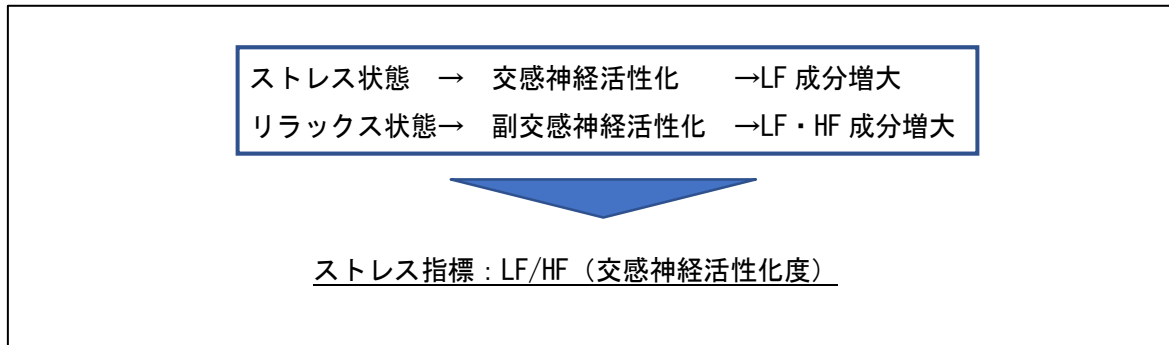


図 3-2 LF/HF 概念図

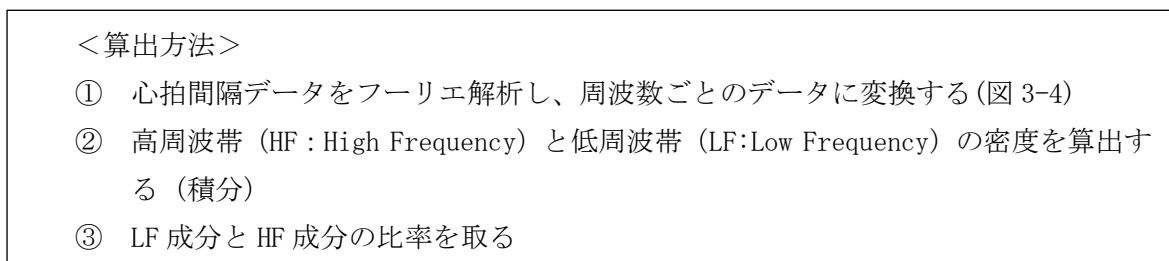


図 3-3 LF/HF の算出方法

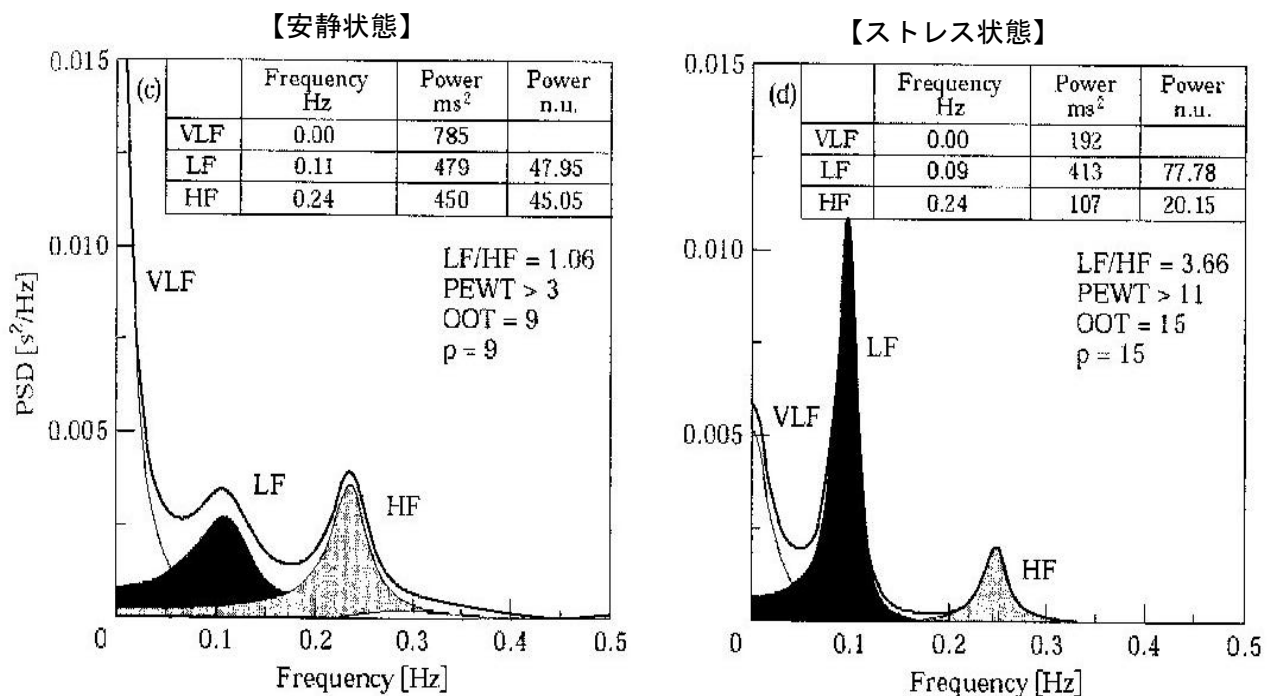


図 3-4 周波数ごとのデータに変換

出典：『商品開発・評価のための生理計測とデータ解析ノウハウ—生理指標の特徴、測り方、実験計画、データの解釈・評価方法』³⁾

3-1-1-2 LP 面積の概要

第二のストレスの指標として LP 面積が挙げられる。LP 面積は豊田ら (2007) ⁴⁾ によって提案されたストレス指標である。図 3-5 の様に、身体はリラックス状態の時は心拍間隔 (RRI : R-R Interval) がばらつく傾向にある。逆にストレス状態の時は心拍間隔が短くなるが、一定の間隔を保ち、ばらつきは小さくなる。そのため、図 3-8 のように横軸に n 番目の RRI、縦軸に $n+1$ 番目の RRI をプロットしたグラフを作成し、楕円の面積 (LP 面積) を算出するとストレス状態の時は LP 面積が小さくなる傾向にある。この LP 面積を算出することで被験者が受けているストレスを定量的に評価することができる。

実際に LP 面積を算出する手順は図 3-7 のようになる。まず、取得した心拍間隔 (RRI) データを順番ごとにナンバリングしていき、データを整理する。その後、図 3-7 のように、 n 番目の RRI の値を x 、 $n+1$ 番目の RRI の値を y としたポイントをグラフ上にプロットしていく。また、グラフに $y=x$ 、 $y=-x$ の直線を挿入し、それぞれの直線に対する標準偏差 $\sigma_x \cdot \sigma_{-x}$ を算出する。そして、算出した標準偏差と円周率から LP 面積 (図 3-7 の楕円の面積) を算出する。

近年では、都市計画や土木の分野で LP 面積をストレス指標として用いる研究が確認されている ²⁾。また、分析に必要なデータ量は十一ら (1997) ⁵⁾ によって 2 分あれば十分に再現性の高い結果が得られることが示されている。

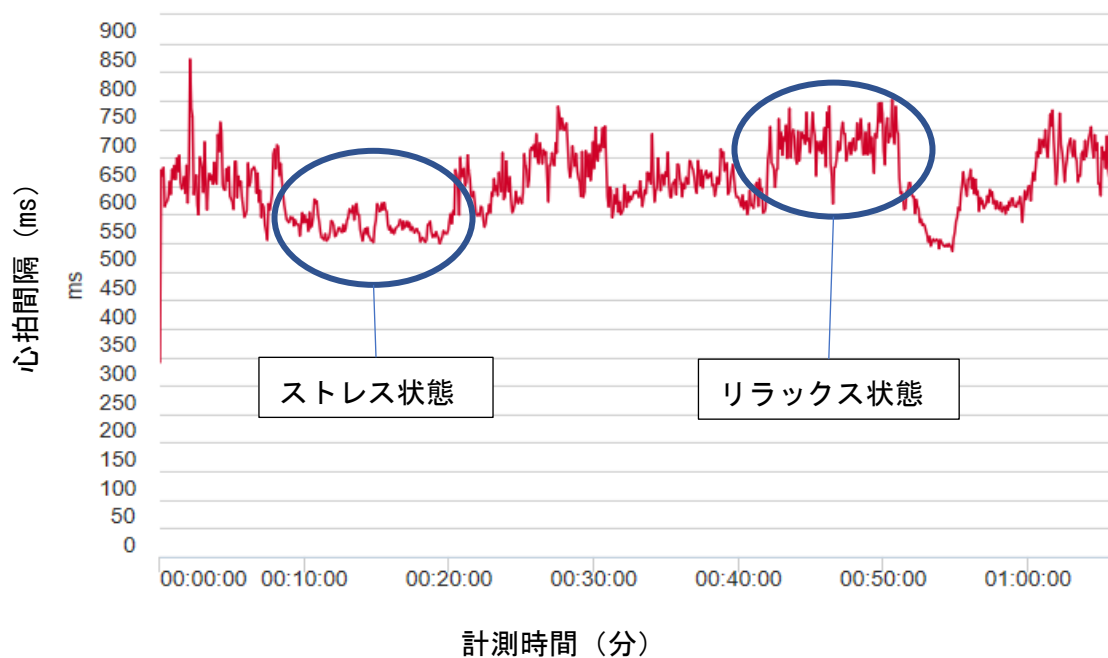


図 3-5 心拍間隔データ例 (筆者の心拍データを示している)

ストレス状態 → RR 間隔が短くなる → RR 間隔のばらつきが小さくなる
(一定の間隔を保つ)
リラックス状態 → 長短様々な RR 間隔が混在 → RR 間隔のばらつきが大きくなる

図 3-6 LP 面積の概要

<算出方法>

- ①心拍間隔データをナンバリングする
- ②図 3-7 のように横軸に n 番目の RRI、縦軸に n+1 番目の RRI をプロットしたグラフを作成する
例: 1 番目の RR 間隔=800msec, 2 番目の RR 間隔=900msec の時は (800, 900)
- ③グラフに $y=x$, $y=-x$ の直線を挿入し、 $y=x$ 軸に対する距離の標準偏差を σ_x , $y=-x$ 軸に対する距離の標準偏差 σ_{-x} とし、以下の式で LP 面積を求める

$$\text{LP 面積} = \pi \times \sigma_x \times \sigma_{-x} \quad (1)$$

図 3-7 LP 面積の算出方法

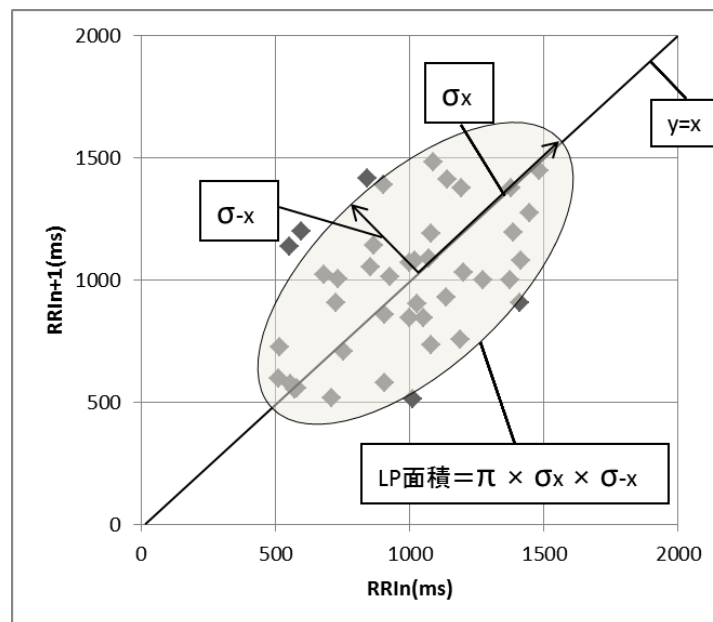


図 3-8 LP 面積の算出方法

3-1-1-3 心拍変動の解析まとめ

LF/HF をストレス指標として用いる手法は建築環境工学の分野で多用され、得られる結果の精度も高い手法といえる⁶⁾。しかし、HF 成分・LF 成分の抽出方法が多岐にわたりがつ煩雑で、データの取り扱いに留意が必要である。また、心理的負荷の影響を反映できない場合がある。LP 面積をストレス指標として用いる手法は、LF/HF による手法よりも簡易に分析を行うことを目的として開発された指標である。解析ソフトの開発が進められており、近年では、都市計画や土木工学における歩行者レベルのストレス指標として、用いられるようになってきている。分析に必要とされるデータ時間長は2分程度と比較的短時間の計測でも分析が可能のため、被験者への負担軽減にも効果的といえる。そこで、本研究では、LP 面積を歩行者のストレス指標として採用する。

表 3-1 ストレス評価指標

手法	特徴	用いられる分野
LF/HF	<ul style="list-style-type: none"> ・ 比較的信頼性の高い結果が得られる ・ LF 成分・HF 成分の抽出方法が煩雑で、データの扱いに留意する必要がある ・ 心理的負荷を反映できない場合がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 医学 ・ 人間工学 ・ 建築環境工学
LP 面積	<ul style="list-style-type: none"> ・ 簡易的に解析が行える ・ 不整脈のデータを除去できる ・ 先行研究が乏しい ・ 2 分ほどの計測で分析可能(被験者の負担が少ない) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 医学 ・ 人間工学 ・ 土木工学

3-2 実験内容

3-2-1 実験の流れ

実験は2018年5月12日・19日の2日間（13:00-16:00）実施した。被験者は両日各3名、合計6名とした。また、不整脈等、身体的な影響を考慮し、20・30代で健康状態が良好な被験者を対象とした。実験は首都大学東京研究安全倫理委員会の審査を受け、承認を得た上で実施した（承認番号：H30-46，承認日：平成30年3月30日）

実験当日はまず、被験者に健康状態に関するアンケート（図3-9）を回答してもらい、前日の睡眠時間や普段の運動頻度、持病の有無などの確認を行った。アンケート記入後、安静時の心拍変動データを得るため、着席状態で心拍測定を行った。その後、図3-10で示した実験ルートを前半（①～⑥）と後半（⑦～⑮）に分け、休憩15分を挟み、被験者に歩行させた。その際、事前に各実験ルートを被験者に示し、一人ずつ、任意の速度で歩行してもらった。実験中は心拍センサー・リストレシーバー・ウェアラブルカメラを装着してもらい、歩行時の心拍変動データと視線方向の動画を取得した（Polar社の心拍センサーH10・リストレシーバーV800・Panasonic社HX-A500（図3-12）を使用）。

表3-2 実験の流れ

行動内容	時間	場所
実験開始		集合場所 (会議室)
健康状態に関するアンケート実施	5分	〃
着席状態で心拍測定 (安静時心拍データ取得)	5分	〃
移動	1-2分	
実験ルート①を歩行（一人ずつ）	2-5分	実験ルート①
移動	1-2分	
休憩（休憩中に安静時心拍データ取得）		
休憩（休憩中に安静時心拍データ取得）	15分	集合場所 (会議室)
移動	1-2分	
実験ルート⑦を歩行（一人ずつ）	2-5分	実験ルート⑦
移動	1-2分	
着席状態で心拍測定 (安静時心拍データ取得)	5分	集合場所 (会議室)
実験終了		〃

健康状態に関するアンケート

歩行時のストレス実験にあたり、参加者の方に健康状態に関するアンケートを実施します。アンケートの結果は厳重に管理し、学術的な目的でのみ使用します。アンケートに関してご不明な点があれば、実験スタッフにご質問ください。何卒ご協力お願いします。

■ 基本情報

氏名		年齢	歳	性別	男性・女性
所属				実験日時	5/12・5/19
出身地	都・道・府・県			市・町・村	
連絡先（メールアドレス）					

※連絡先は記入自由（実験結果をメールアドレス宛にお送りします）

■ 健康状態に関する質問（当てはまる項目の番号に○をつけてください）

問1 本日の体調を教えてください

1. 良い 2. まあ良い 3. どちらともいえない 4. やや悪い 5. 悪い

問2 昨夜から今朝にかけての睡眠時間は何時間でしたか

（ ）時間

問3 運動やスポーツ活動の頻度を教えてください

1. 毎日 2. 週5日以上 3. 週3日以上 4. 週1日以上 5. ほとんどしない

問4 普段の一日の歩行時間を教えてください

1. 2時間以上 2. 1時間以上 3. 30分以上 4. 30分未満 5. わからない

問5 外出する頻度を教えてください

1. 毎日 2. 週5日以上 3. 週3日以上 4. 週1日以上 5. ほとんど外出しない

問6 千駄ヶ谷を訪れたことはありますか

1. はい（問7へ） 2. いいえ（問8へ）

※問6で「1. はい」を選んだ方のみお答えください

問7 千駄ヶ谷を訪れる頻度を教えてください

1. 週1日以上 2. 月1日以上 3. 半年に1日以上 4. 一年に1日以上 5. 過去に数回程度

裏面に続く

図3-9 健康状態に関するアンケート（表面）

問8 原宿を訪れたことはありますか

1. はい (問9へ) 2. いいえ (問10へ)

※問 8 で「1. はい」を選んだ方のみお答えください

問9 原宿を訪れる頻度を教えてください

1. 週1日以上 2. 月1日以上 3. 半年に1日以上 4. 一年に1日以上 5. 過去に数回程度

問10 本日までの一週間に何日くらいお酒を飲みましたか

1. 毎日 2. 5日以上 3. 3日以上 4. 1日以上 5. 飲んでいない

問 1 1 普段、タバコを吸いますか

1. 毎日吸っている 2. 時々吸う日がある 3. 以前は吸っていたが1か月以上吸っていない
4. 吸わない

問 1 2 現在、定期的に医師の診療や治療を受けている病気（心疾患・呼吸器疾患・腎疾患・糖尿病など）はありますか

1. はい (病名:) 2. いいえ

質問は以上です。ご協力ありがとうございました。

図 3-9 健康状態に関するアンケート（裏面）

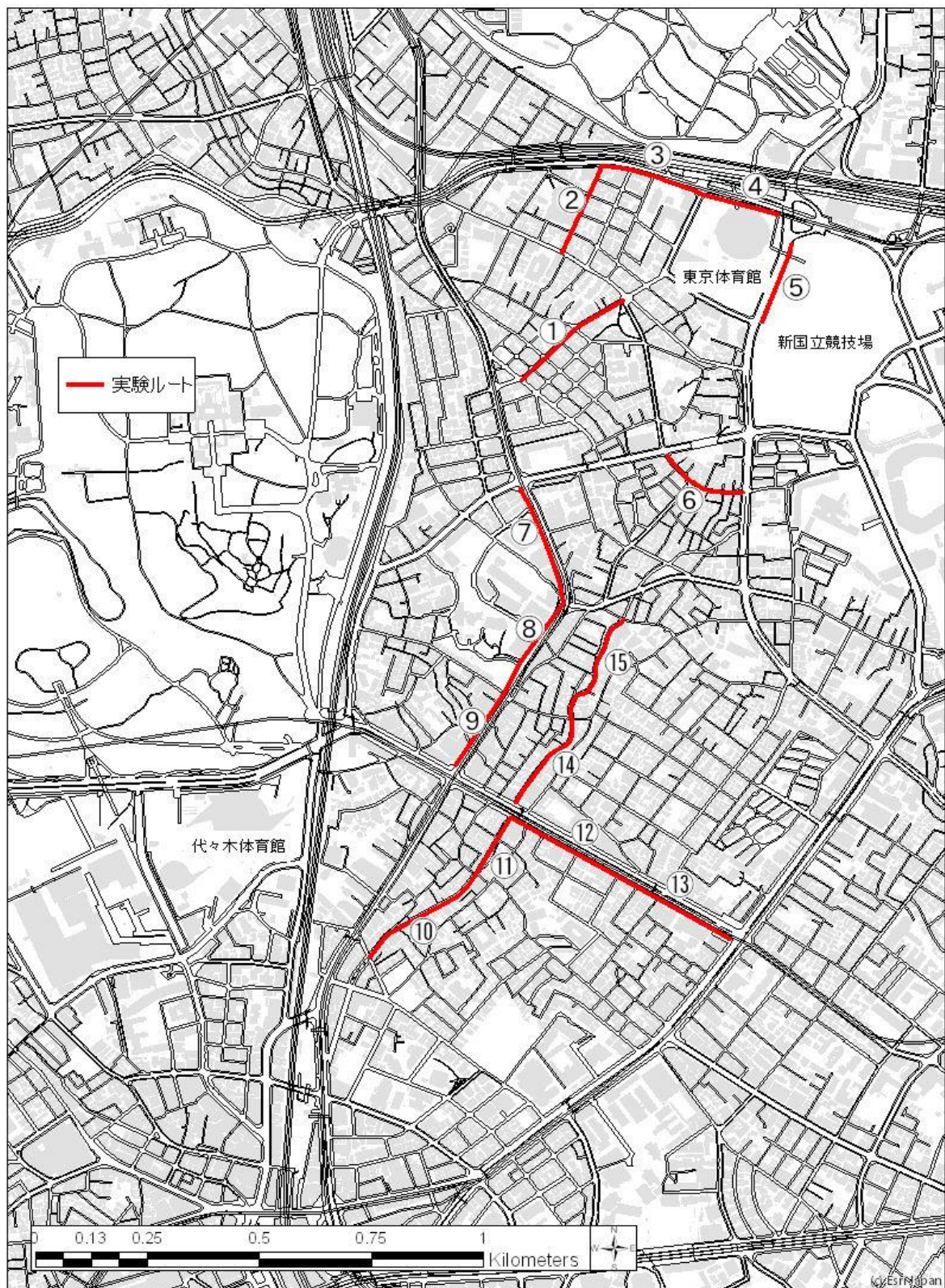


図 3-10 実験ルート



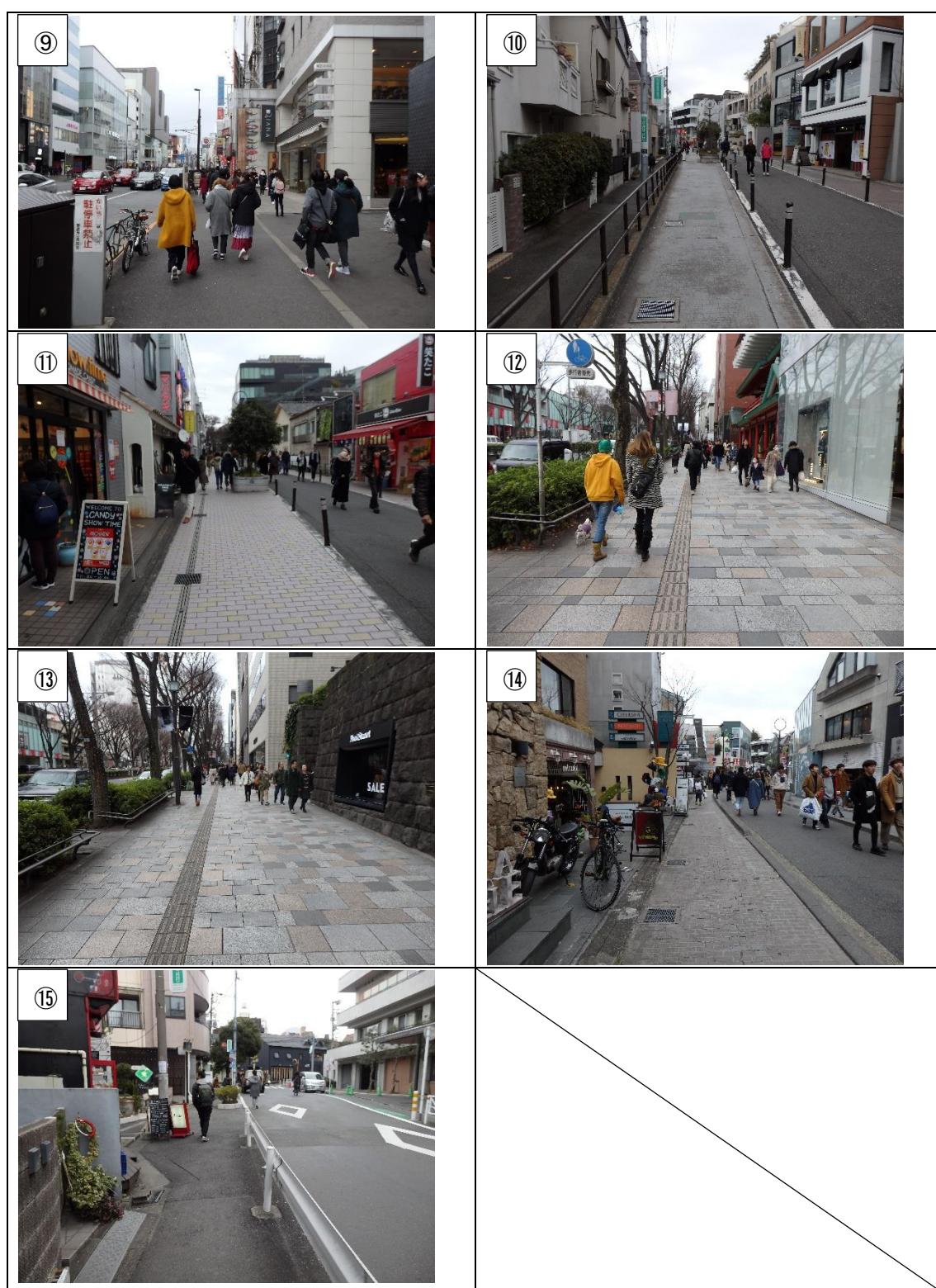


図 3-11 実験ルート写真（筆者撮影）



図 3-12 実験装備

3-2-2 実験ルートを選定

既往研究では歩車道の分離や幅員が歩行者のストレスに影響することを指摘している。また、ヘリテッジゾーンは起伏の激しい街路が多いことから、ルートを選定の際には、傾斜の有無に関して考慮する必要がある。加えて、対象地域の街路の特性を考慮するため、街路を以下の3パターンに分類し、偏りがないように選定し、実験ルートに組み込んだ。

〈街路パターン〉

- ①大通り：比較的、車線数が多い大きな通りに面した街路。歩道と車道が分離されており、植栽やガードレールが配置されているなど、整備されている。
実験範囲を囲う様な街路。
- ②細街路：千駄ヶ谷エリアに見られる街路。住宅や昔ながらの商店が立ち並ぶような街路。比較的、幅員が狭く、歩車道が分離されていない。
- ③商業系：表参道エリアに見られる街路。街路の両側に店舗が立ち並んでいる。人通りが多く、看板などの障害物がある。

上記の3パターンの街路を実験ルートに組み込むように考慮した。そして、ヘリテッジゾーンに位置する東京体育館・新国立競技場・代々木体育館周辺において、15本の実験ルートを選定した（表3-3）。

表 3-3 実験ルート詳細

ルート番号	街路環境項目						
	距離(m)	歩道幅員(m)	車道幅員(m)	歩行者量(人/m)	障害物(個/m)	傾度(度)	植栽
①	294	1.5	9.0	0.051	0.068	1.383(上り)	無し
②	210	0.0	4.2	0.029	0.048	0.164(上り)	無し
③	217	7.0	11.0	0.138	0.023	0.766	有り
④	183	7.0	16.4	0.126	0.011	0.094(上り)	有り
⑤	309	2.0	16.4	0.065	0.045	0.278	有り
⑥	200	1.0	5.4	0.065	0.105	0.430(上り)	無し
⑦	244	2.5	14.5	0.135	0.016	1.948	有り
⑧	255	3.4	15.0	0.278	0.012	0.629	有り
⑨	185	3.4	15.0	1.141	0.032	0.310	有り
⑩	299	3.0	3.0	0.589	0.030	0.173(上り)	有り
⑪	143	3.0	3.0	0.678	0.056	0.841(上り)	有り
⑫	270	8.2	20.2	1.356	0.044	1.739(上り)	有り
⑬	286	8.2	20.2	1.182	0.045	1.222(上り)	有り
⑭	272	2.0	3.7	0.842	0.081	0.084	無し
⑮	208	2.0	3.7	0.274	0.063	0.5234(上り)	無し

3-2-3 実験結果

実験で得られた心拍変動データから実験ルート毎に LP 面積を算出した。また、実験前の心拍変動データに関しても同様に LP 面積を算出した（図 3-12・表 3-4）。

図 3-12 の LP 面積変化のグラフを確認すると①・⑫・⑭のルートで LP 面積が減少しており、ストレス量が増大していることがわかる。①に関しては歩道幅員が狭いこと、勾配があることが影響していると考えられる。⑫に関しては比較的幅員は広いが、勾配があること、人通りが多かったことが影響していると考えられる。⑭に関しては人通りが多かったこと、看板などの障害物が多く設置されていたことが要因と思われる。

逆に⑨・⑪のルートでは LP 面積が増加し、ストレス量が減少していることがわかる。⑨に関しては人通りが非常に多かったため、歩行速度が減少し、身体的負荷が小さくなったことが原因と考えられる。⑪に関しては人通りは多いものの、車の通り抜けができないルートであったため、車との接触などの不安がなく、安全性が高いことが影響していると考えられる。

表 3-4 歩行実験時の LP 面積 ($s^2 \times 10^{-3}$)

実験日	5 月 12 日			5 月 19 日		
参加者 ID ルート番号	1	2	3	4	5	6
①	0.95	0.83	0.05	0.18	0.94	0.20
②	1.04	2.49	0.16	0.56	1.41	0.44
③	1.23	2.33	0.14	0.22	0.96	0.29
④	1.29	1.81	0.40	0.28	0.63	0.56
⑤	1.04	1.25	0.42	0.29	1.13	0.45
⑥	1.51	1.53	0.09	0.54	0.82	0.88
⑦	0.61	1.96	0.21	0.44	2.39	0.98
⑧	0.61	1.92	0.57	0.31	1.92	0.60
⑨	2.46	3.63	0.58	0.85	1.54	1.43
⑩	1.20	1.40	0.06	0.62	1.77	0.62
⑪	1.04	2.60	0.68	0.87	3.89	1.46
⑫	0.58	1.13	0.07	0.18	0.39	0.16
⑬	0.38	2.83	0.81	0.28	0.33	0.83
⑭	0.55	1.07	0.11	0.37	1.16	0.46
⑮	1.63	1.75	0.53	0.40	1.11	0.81

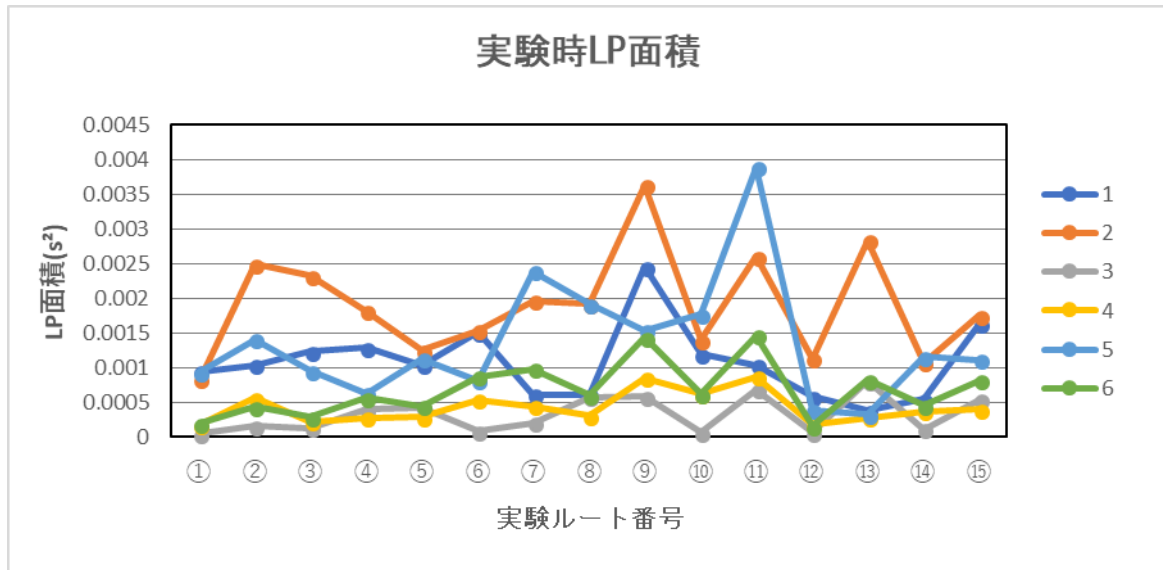


図 3-12 実験参加者 6 名の LP 面積変化

歩行実験のデータに加えて、安静時の数値を確認するため、実験の直前・休憩中・終了後に心拍測定した 5 分間のデータを対象に、LP 面積を算出した（表 3-5・図 3-13）。図 3-13 の箱ひげ図を確認すると、実験が後半に向かうに従い、若干ではあるが、LP 面積が増大していることがわかる。そこで、疲労などの影響を確認するため、データを直前・休憩中・終了後の 3 グループに分け、一元配置分散分析を行った。その結果、P 値は 0.48 (>0.05) であり、有意差はなかった。また、F 値は 0.77 (<3.68 (F 境界値)) で、F 境界値未満の値を示した。以上の結果より、帰無仮説「直前・休憩中・終了後の 3 グループの平均値は等しい」は棄却されず、実験の疲労等は心拍データに影響していないと判断した。

表 3-5 安静時の LP 面積 ($s^2 \times 10^{-3}$)

実験日	5 月 12 日			5 月 19 日		
参加者 ID	1	2	3	4	5	6
測定時						
直前	1.84	0.54	1.67	1.01	4.20	1.70
休憩中	4.55	0.54	0.74	3.49	6.82	3.15
終了後	3.12	0.26	0.20	2.75	8.28	5.74
平均	3.17	0.45	0.87	2.42	6.43	3.53

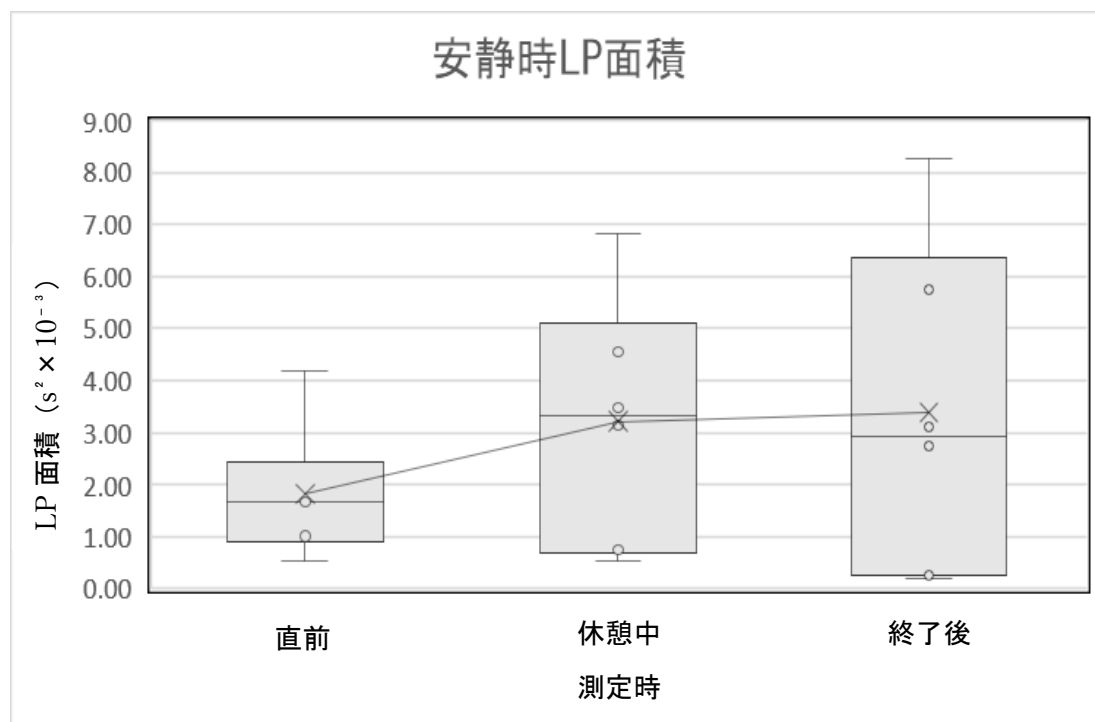


図 3-13 LP 面積箱ひげ図（安静時）

表 3-6 一元配置分散分析の概要

グループ	データの個数	合計	平均	分散
直前	6	10.96	1.83	1.60
休憩中	6	19.29	3.22	5.63
終了後	6	20.35	3.39	9.98

表 3-7 一元配置分散分析の分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
測定時期 3 群間	8.82	2	4.41	0.77	0.48	3.68
群内	86.03	15	5.74			
合計	94.84	17				

参考文献

- 1) 石田 眞二, 鹿島 茂(2016)「心拍変動を用いた車いす使用者のストレス計測に関する研究」『福祉のまちづくり研究』Vol. 18, No. 2, pp. 1-9, 日本福祉のまちづくり学会
- 2) 鈴木 弘司, 今井 克寿, 藤田 素弘(2014)「自転車利用者の主観評価と客観評価に着目した幹線街路の QOS 評価手法に関する研究」『土木計画研究・論文集』Vol. 70, No. 5 , pp. I_1095-I_1106, 土木学会
- 3) 三宅 晋司 (監修), 日本人間工学会 PIE 研究部会 (編集) (2017)『商品開発・評価のための生理計測とデータ解析ノウハウ—生理指標の特徴、測り方、実験計画、データの解釈・評価方法』エヌ・ティー・エス社出版
- 4) 豊福 史, 山口 和彦, 萩原 啓(2007)「心電図 RR 間隔のローレンツプロットによる副交感神経活動の簡易推定法の開発」『人間工学』Vol. 43, No. 4, pp185-192, 日本人間工学会
- 5) Motomi Toichi, Takeshi Sugiura, Toshiya Murai, Akira Sengoku(1997)「A new method of assessing cardiac autonomic function and its comparison with spectral analysis and coefficient of variation of R-R interval.」『Journal of the Autonomic Nervous System』Vol. 62, pp79-84, Autonomic Nervous System
- 6) 高橋祐樹, 加藤信介, 小林敏孝, 吉井光信, 上原茂男, 樋口祥明, 高橋幹雄, 石川敦雄(2014)「環境変化に敏感な性格傾向を持つ執務者の日中の活動・夜間の睡眠についての検討 サーカディアンリズムを考慮したオフィスの温熱環境制御が執務者の深部体温とその他生理・心理・作業効率に与える影響 その2」『日本建築学会環境系論文集』Vol. 79 No. 695 pp11-17

第 4 章

歩行時ストレス評価モデルの構築

第4章 歩行時ストレス評価モデルの構築

4-1 歩行時ストレス評価モデルの変数の選定

4-1-1 変数候補の抽出

本章では、歩行時ストレス評価モデルの構築を行う。3章で算出した、LP面積を目的変数、街路の空間構成要素を説明変数としたモデルを構築するため、重回帰分析並びにマルチレベル分析を行っていく。そのために、まず、使用する変数の選定を進める。

最初に既往研究をもとに、ストレスに影響を与える可能性のある変数を抽出していく。柴田ら(2017)¹⁾の研究では、歩道幅員や車道幅員が歩行者の負担になっていることが示されている。また、丹羽ら(2016)²⁾の研究では、傾斜や障害物が歩行の妨げになっていることが示されている。松島ら(2010)³⁾の研究では混雑時など周辺に歩行者量が多い場合、ストレスが上昇することが示されている。鈴木ら(2014)⁴⁾では、自転車歩行者を対象としているが、街路に面している駐車場数が多いほど、街路のストレスレベルが上昇することが示されている。

上記の既往研究より、街路の空間構成要素として、10個の変数を選定した(表4-1)。

歩道幅員に関しては、一定の値を超えた時、ストレスが変化しない場合を考慮し、快適な歩道幅員の基準値を設け、ダミー変数を作成した。東京都の街路整備の方針として2m以上の幅員を確保することが示されていることから、2m以上を1、2m未満を0とした変数を作成した。

傾斜に関しては、上りと下りに関わらずストレスに影響すると仮定し、傾斜角度の絶対値を算出した変数と、上りのみストレスに影響すると仮定し上りの傾斜角度のみを算出した変数の2変数を選定した。また、歩道幅員と同様に、一定の値を超えた時、ストレスが変化しない場合を考慮し、上りで1度以上を1、1度未満を0としたダミー変数を作成した。加えて、既往研究では言及されていないが、街路の植栽状況によってストレスが変化すると仮定し、植栽の有無を変数として選定した。上述した街路の空間構成要素に加えて、調整変数として個人属性に関する変数を選定した。目的変数であるLP面積は心拍間隔から算出していることから、実験参加者の身体状態が影響していると仮定し、安静時のLP面積と運動頻度・歩行速度を変数として加えた。安静時のLP面積に関しては、3章にて、実験による疲労の影響がないことが確認されたため、実験開始直前の着席状態で心拍測定を行ったデータから算出した。

選定した変数は量的変数と質的変数に分類される。多重共線性が発生しないように、量的変数に関しては相関分析を、質的変数に関しては χ^2 検定を行い、相関関係を確認する。また、量的変数と質的変数の関係を確認するため、相関比を算出し、回帰分析に用いる変数の抽出を進める。

表 4-1 説明変数一覧

変数の分類		変数名	定義
個人属性(調整変数)	量的変数	安静時 LP 面積	着席状態で心拍測定を行ったデータより算出した LP 面積(s^2)。実験開始直前に測定。
		歩行速度	各実験ルートにおける参加者の歩行速度(km/h)。歩行実験の際に、参加者に装備してもらったウェアラブルカメラの記録から算出。
	質的変数	運動頻度	運動頻度が週 3 日以上=1, 週 3 日未満=0 としたダミー変数。健康状態に関するアンケートの回答より算出。
街路の空間構成要素	量的変数	歩道幅員	各実験ルートの歩道幅員(m)。国土地理院の道路構成線データ ⁵⁾ から GIS にて算出。
		車道幅員	各実験ルートの車道幅員(m)。国土地理院の道路構成線データ ⁵⁾ から GIS にて算出。
		歩行者量	各実験ルートにて参加者がすれ違った人数を歩道面積で除した値(人/ m^3)。ウェアラブルカメラの記録より算出。
		障害物数	各実験ルートにて電柱・歩道にはみ出している看板の個数を歩道面積で除した値(個/ m^3)。現地調査の結果より算出。
		傾斜角度	各実験ルートの傾斜角度(度)。MAPPLE 歩行者ネットワークデータ ⁶⁾ より算出。
		傾斜角度(上り)	各実験ルートの上りの傾斜角度(度)。MAPPLE 歩行者ネットワークデータ ⁶⁾ より算出。
		駐車場数	各実験ルートに面している駐車場数をルートの距離で除した値(個/m)。現地調査の結果より算出。
	質的変数	歩道幅員ダミー	歩道幅員が 2m以上=1, 2m未満=0 としたダミー変数。国土地理院の道路構成線データ ⁵⁾ から GIS にて算出。
		傾斜角度ダミー	上りの傾斜角度が 1 度以上=1, 1 度未満=0 としたダミー変数。MAPPLE 歩行者ネットワークデータ ⁶⁾ より算出。
		植栽ダミー	植栽あり=1, 植栽なし=0 としたダミー変数。現地調査の結果より算出。

4-1-2 量的変数の相関関係

目的変数である LP 面積に加え、前章の表 4-1 で示した説明変数の内、量的変数を抽出し、相関分析を行った（表 4-3）。分析の際には Pearson の相関係数を算出し、両側検定を行った。サンプル数は 90 である。

まず、LP 面積に着目すると、歩行速度が 1%有意で負の相関があることがわかる。これは歩行速度が上がるほど、身体への負荷が大きくなるためストレスが大きくなり、LP 面積が減少する関係が示されたと考えられる。また、他の変数に着目すると、有意ではなかったものの、歩行者量・傾斜角度（上り）・駐車場数が他の変数よりも相関が高い傾向にあることがわかった。以上の結果より、歩行時ストレス評価モデルの構築の際には、歩行速度・歩行者量・傾斜角度（上り）・駐車場数を説明変数として組み込むべきと考えられる。また、安静時 LP 面積は LP 面積との相関関係が確認されなかったが、調整変数として残すべきと考え、説明変数に組み込むこととする。

次に、多重共線性を防ぐため、抽出した説明変数間の相関を確認していく。まず、安静時 LP 面積に着目すると、有意に相関を示している他の変数はないことが確認できる。次に歩行速度に着目すると、歩行者量と 1%有意で負の相関を、駐車場数と 1%有意で正の相関を示していることがわかる。そのため、変数としては歩行速度・歩行者量・駐車場数のうち一つの変数を選択する必要がある。3 つの変数の内、歩行速度のみ目的変数である LP 面積と有意な相関を示している。そのため、最も説明力を有していると考えられるので、歩行速度を説明変数として選定する。次に、傾斜角度（上り）に着目すると、他の候補の変数とは有意な相関が確認されなかった。そのため、多重共線性の問題はないと考えられる。

以上の結果より、説明変数として安静時 LP 面積・歩行速度・傾斜角度（上り）の 3 つの変数を選定する。

表 4-2 説明変数（量的変数）の候補

変数の分類	第一段階候補	最終候補 (共線性の影響を考慮)
個人属性 (調整変数)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安静時 LP 面積 ・ 歩行速度 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安静時 LP 面積 ・ 歩行速度
空間構成要素	<ul style="list-style-type: none"> ・ 歩行者量 ・ 傾斜角度（上り） ・ 駐車場数 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 傾斜角度（上り）

表 4-3 量的変数間の相関分析 (N=90)

	LP 面積	安静時 LP 面積	歩行速度	歩道幅員	車道幅員	歩行者量	障害物数	傾斜角度	傾度角度 (上り)	駐車場数
LP 面積	1.00	0.06	-0.46**	-0.09	-0.10	0.11	-0.10	-0.08	-0.11	-0.15
安静時 LP 面積	0.06	1.00	-0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
歩行速度	-0.46**	-0.08	1.00	0.00	0.03	-0.39**	-0.04	0.05	-0.16	0.31**
歩道幅員	-0.09	0.00	0.00	1.00	0.68**	0.15	-0.38**	0.33**	0.36**	-0.25*
車道幅員	-0.10	0.00	0.03	0.68**	1.00	-0.03	-0.36**	0.44**	0.25*	0.03
歩行者量	0.11	0.00	-0.39**	0.15	-0.03	1.00	0.29**	-0.08	0.18	-0.55**
障害物数	-0.10	0.00	-0.04	-0.38**	-0.36**	0.29**	1.00	-0.01	0.19	0.08
傾斜角度	-0.08	0.00	0.05	0.33**	0.44**	-0.08	-0.01	1.00	0.60**	0.04
傾度角度 (上り)	-0.11	0.00	-0.16	0.36**	0.25*	0.18	0.19	0.60**	1.00	0.03
駐車場数	-0.15	0.00	0.31**	-0.25*	0.03	-0.55**	0.08	0.04	0.03	1.00

** : 1%有意 * : 5%有意

4-1-3 質的変数の関連性

質的変数である歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミー・植栽ダミー・運動頻度の4つの変数間の相関関係を確認するため、 χ^2 検定を行った（表4-4）。2×2の分割表のため総セル数が4となり、期待度数が5未満であるので、フィッシャーの正確確率検定を行った。実験ルートごとにデータ抽出したため、サンプル数は15である。

結果を確認すると、歩道幅員ダミーと植栽ダミーとの χ^2 値が6.56で、5%有意で関連性が示された。そのため、歩道幅員ダミーと植栽ダミーのどちらかを変数として選定する必要がある。既往研究では歩道幅員がストレスと関係性があることを示している研究が多いため、歩道幅員ダミーが高い説明力を有していると考えられる。そのため、説明変数として歩道幅員ダミーを選定する。また、他の変数間では関連性は確認されなかったため、多重共線性の問題はないと考えられる。

以上の結果より、説明変数として、歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミー・運動頻度を選定する。

表 4-4 質的変数の χ^2 検定（フィッシャーの正確確率検定，N=15）

	歩道幅員ダミー	傾斜角度ダミー	植栽ダミー	運動頻度
歩道幅員ダミー	1.00	0.60	6.56*	0.00
傾斜角度ダミー	0.60	1.00	0.00	0.00
植栽ダミー	6.56*	0.00	1.00	0.00
運動頻度	0.00	0.00	0.00	1.00

**：1%有意 *：5%有意

表 4-5 説明変数（質的変数）の候補

変数の分類	第一段階候補	最終候補 (共線性の影響を考慮)
個人属性 (調整変数)	・ 運動頻度	・ 運動頻度
空間構成要素	・ 歩道幅員ダミー ・ 傾斜角度ダミー ・ 植栽ダミー	・ 歩道幅員ダミー ・ 傾斜角度ダミー

4-1-4 量的変数と質的変数の関連性

量的変数と質的変数の関連性を確認するために、相関比を算出した（表 4-6）。まず、LP 面積と質的変数の関連性を確認すると、傾斜角度ダミーが 5%有意、運動頻度が 1%有意を示した。そのため、傾斜角度ダミー・運動頻度は LP 面積に対して説明力を有した変数であると考えられる。また、傾斜角度ダミーは傾斜角度（上り）と 1%有意で高い関連性を示している。そのため、どちらかを説明変数として選定する必要がある。傾斜角度（上り）は LP 面積との相関関係は確認されなかったが、傾斜角度ダミーは LP 面積と相関関係が確認された。そのため、傾斜角度ダミーの方がより高い説明力を有していると考えられる。よって、傾斜角度ダミーを説明変数として選定する。

以上の結果より、歩行時ストレス評価モデルの構築には、歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミー・運動頻度・安静時 LP 面積・歩行速度の 5 つの変数を用いる（表 4-7）。

表 4-6 量的変数と質的変数の相関比（N=90）

		量的変数			
		LP 面積	安静時 LP 面積	歩行速度	傾斜角度 （上り）
質的 変数	歩道幅員ダミー	0.018	0.000	0.006	0.058
	傾斜角度ダミー	0.049*	0.000	0.001	0.797**
	運動頻度	0.292**	0.249	0.128	0.000

**：1%有意 *：5%有意

表 4-7 説明変数の選定結果

変数の分類	第一段階候補	最終選定
個人属性 （調整変数）	<ul style="list-style-type: none"> ・運動頻度 ・安静時 LP 面積 ・歩行速度 	<ul style="list-style-type: none"> ・運動頻度 ・安静時 LP 面積 ・歩行速度
空間構成要素	<ul style="list-style-type: none"> ・歩道幅員ダミー ・傾斜角度ダミー ・傾斜角度（上り） 	<ul style="list-style-type: none"> ・歩道幅員ダミー ・傾斜角度ダミー

4-2 ストレスと街路の空間構成要素の関係性

4-2-1 重回帰分析

LP 面積を目的変数、4-1 節で抽出した個人属性・空間構成要素（表 4-8）を説明変数とし、ステップワイズ法を用いて重回帰分析を行った（表 4-9）。分析の際には空間構成要素として、歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミーを、調整変数として、個人属性の安静時 LP 面積・歩行速度・運動頻度を用いた。

結果を確認すると、調整済み重決定係数は 0.564 であり、考察に十分な説明力を得られている。また、VIF を確認すると全ての値が 2 未満であり、多重共線性の影響がないことが確認できる。

空間構成要素の変数に着目すると、歩道幅員ダミーが 5%有意で、正の係数を示しており、歩道幅員が 2m 以上確保できていると LP 面積が大きくなることがわかる。ストレスを感じている状態では LP 面積の値が小さくなるので、歩道幅員が 2m 以上の場合にはストレスが少ない傾向にあることがわかる。また、傾斜角度ダミーに着目すると、1%有意で負の係数を示しており、上り坂の場合、傾斜が急勾配になるほど、LP 面積が小さくなり、ストレスが増大することがわかる。

次に個人属性の変数に着目すると、安静時 LP 面積が 1%有意で正の係数を示しており、安静時の LP 面積が大きいほど、歩行時の LP 面積の値が大きい傾向になることがわかる。歩行速度に着目すると、1%有意で負の係数を示していることがわかる。このことから、歩行速度が上昇するほど、身体への負荷が大きくなるため、LP 面積が小さくなり、ストレスが増大するということが考えられる。また、運動頻度に着目すると、1%有意で正の係数を示していることがわかる。運動頻度が高い人ほど、歩行時の身体への負荷が小さいため、LP 面積が大きくなる傾向にあるといえる。

歩道幅員ダミーが 5%有意、傾斜角度ダミー・安静時 LP 面積・歩行速度・運動頻度が 1%有意であり、全ての説明変数が有意を示していることがわかった。また、調整済み決定係数も予測に十分な値といえる。以上の結果より選定した 5 変数を用いて歩行時ストレス評価モデルを構築することは十分に可能といえる。

表 4-8 説明変数の定義

説明変数名		定義
(調整変数) 個人属性	安静時 LP 面積	実験前に着席状態で測定した心拍変動データより算出した LP 面積 (s^2)。
	歩行速度	各実験ルートにおける被験者の歩行速度 (km/h)。
	運動頻度	週 3 日未満=0, 週 3 日以上=1 としたダミー変数。
空間構成要素	歩道幅員ダミー	幅員 2m 未満=0, 幅員 2m 以上=1 としたダミー変数。
	傾斜角度ダミー	上り坂で傾斜 1 度未満=0, 傾斜 1 度以上=1 としたダミー変数。

表 4-9 重回帰分析の結果 (n=90)

	非標準化係数 ($\times 10^{-3}$)	標準化係数 ($\times 10^{-3}$)	VIF
切片	2.396**		
歩道幅員ダミー	0.256*	0.164	1.048
傾斜角度ダミー	-0.514**	-0.264	1.042
安静時 LP 面積 (s^2)	0.243**	0.361	1.404
歩行速度 (km/h)	-0.447**	-0.286	1.115
運動頻度	1.375**	0.658	1.466

調整済み重決定係数 $R^2=0.564$ ** : 1%有意 * : 5%有意

4-2-2 マルチレベル分析

4-2-2-1 分析の概要

マルチレベル分析とは、「階層構造データ」を対象として分析を行う際に用いられる手法である。階層構造データとは複数の水準（レベル）にまたがっているデータのことを指す。例えば、個人に繰り返し実験に参加してもらい取得したデータ（反復測定データ）が階層構造データに当てはまる。本研究の場合は、実験参加者1人に15ルートを歩行してもらい、データを取得しているため、反復測定データに当てはまる。歩行実験のデータは図1のようにレベル1がルート、レベル2が個人である階層構造データと見なせる。

回帰分析の場合は、サンプルが独立に抽出されていることを仮定している。しかし、階層構造データの場合は、データの集団ごとに類似性が存在している可能性があるため、独立の仮定を満たしているとはいえない。このような問題を回避し、目的変数と説明変数の関係性を明らかにしたい場合にマルチレベル分析が有効な分析手法となる。

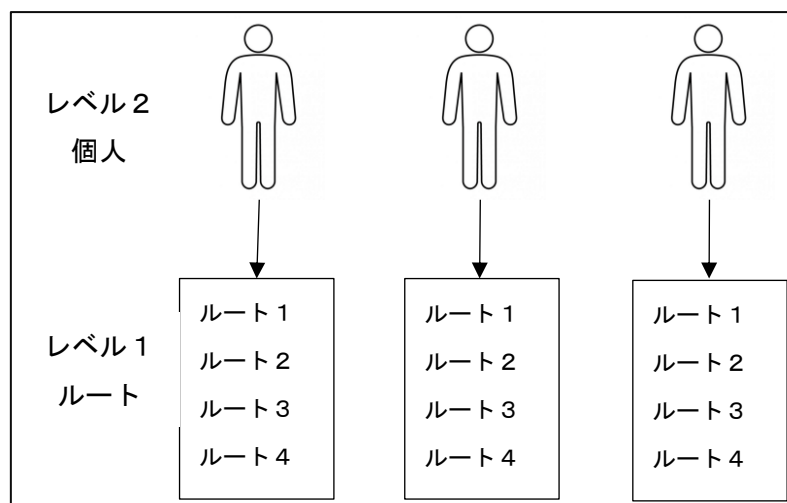


図4-1 歩行実験のデータの階層構造

マルチレベル分析は基本的には回帰分析と同様に、目的変数に対する説明変数の影響を係数として推定する分析方法である。しかし、マルチレベル分析の場合は、集団ごと（本研究の場合は実験参加者ごと）に回帰式を推定するという点が通常の回帰分析との相違点となる。以降、ランダム切片モデルを例に分析方法について説明を進める。

ランダム切片モデルとは回帰式の傾きは同じだが、切片の値が集団ごとに違っていると仮定したモデルである。本研究においてランダム切片モデルを用いる場合は、まず、LP面積を目的変数とした回帰式(1)を作成する。その際には、実験参加者ごとに切片の値が異なると仮定し、それぞれの切片を説明する(2)式を構築する。また、(1)・(2)式における下線部の全体切片と β_1 は全体で1つの値を推定するので、「固定効果」と呼ばれる。それに対して、波線部の偏差切片は実験参加者ごとに値を推定するので、「変量効果」と呼ばれる。このように、マルチレベル分析は全体で共通している影響と個人ごとの影響を分解して考える手法となっている。

$$\text{ストレス量} = \text{切片}_j + \beta_1 \times \text{歩道幅員} + \text{誤差} \quad (1)$$

$$\text{切片}_j = \text{全体切片} + \text{偏差切片}_j \quad (2)$$

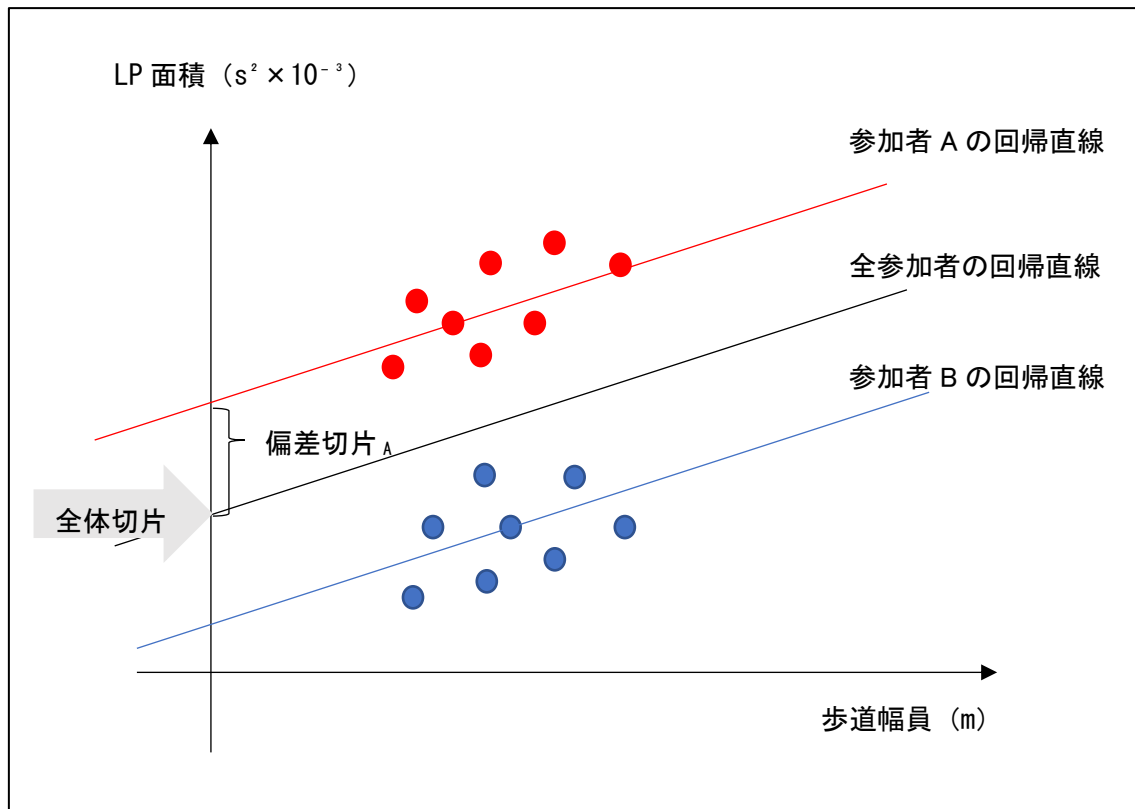


図 4-2 ランダム切片モデルの分析例

本章ではランダム切片モデルを例に説明したが、他のモデルとして傾きを変量効果としたランダム傾きモデルや切片と傾き両方を変量効果としたランダム係数モデルがある。

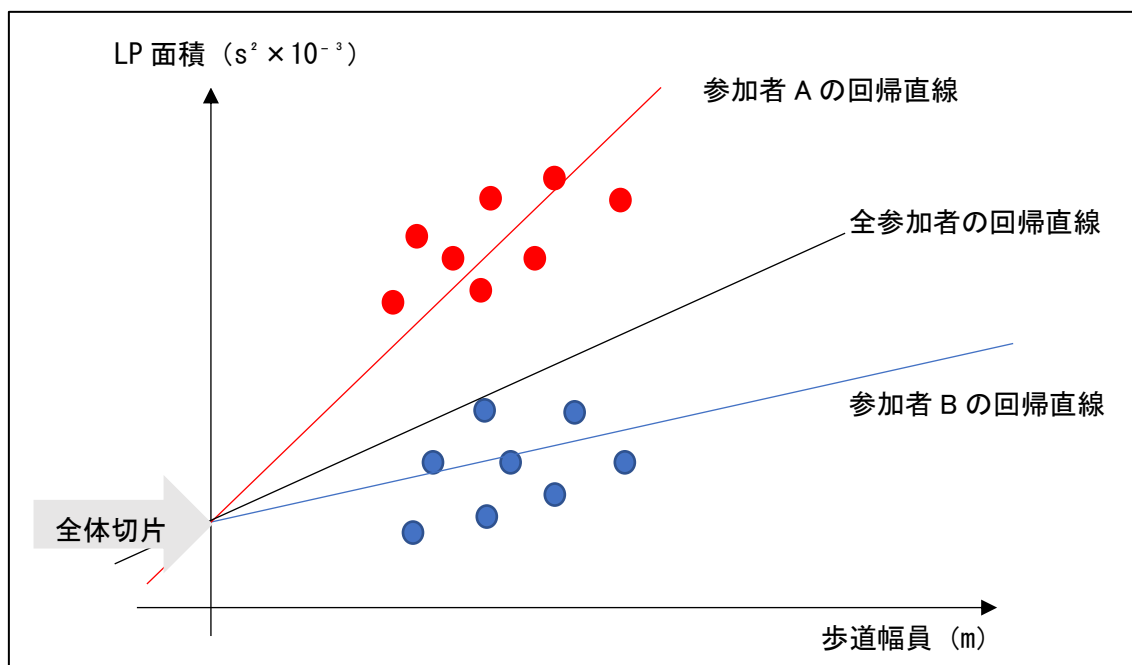


図 4-3 ランダム傾きモデルの分析例

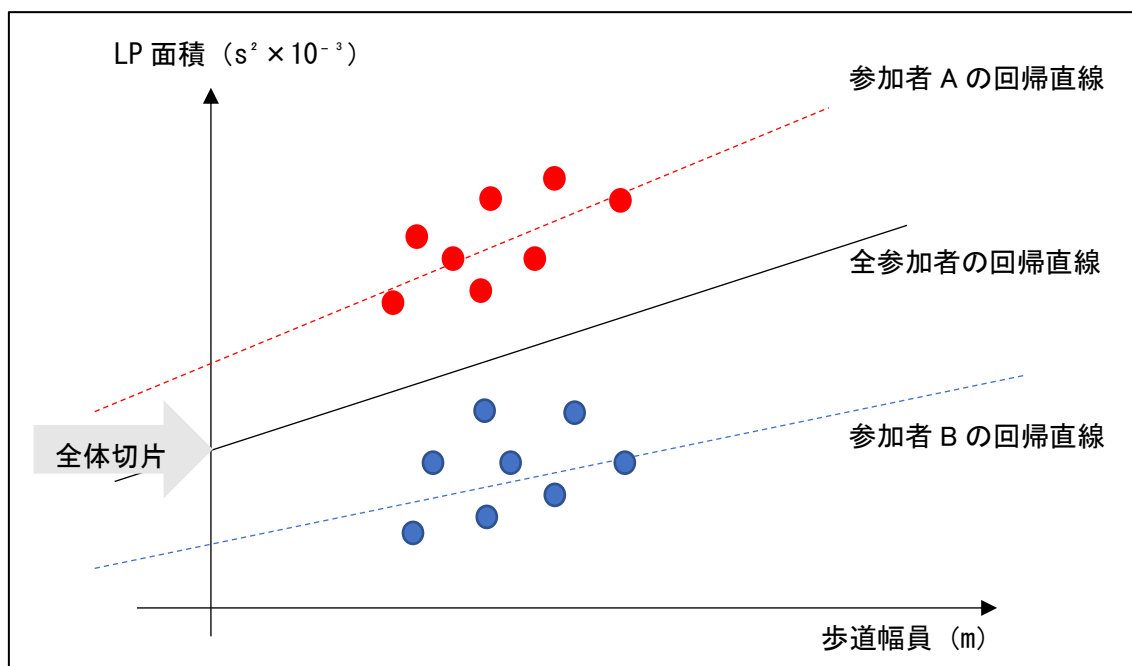


図 4-4 ランダム係数モデルの分析例

4-2-2-2 分析の流れ

マルチレベル分析の流れは図4-5の通りである。まずは、帰無モデル（切片のみで説明するモデル）を作成し、級内相関係数を算出することで、マルチレベル分析が適しているか確認する。級内相関係数が0.1以上の場合、階層の影響が大きい（実験参加者ごとにストレス量の差が大きい）ので、その場合はマルチレベル分析を、級内相関係数が0.1より小さい場合は、通常の回帰分析を行う⁷⁾。その後、各モデルを構築し、適合度をAICから確認する。そして、算出したモデルの中から最も適合度が高いモデルを選定する。

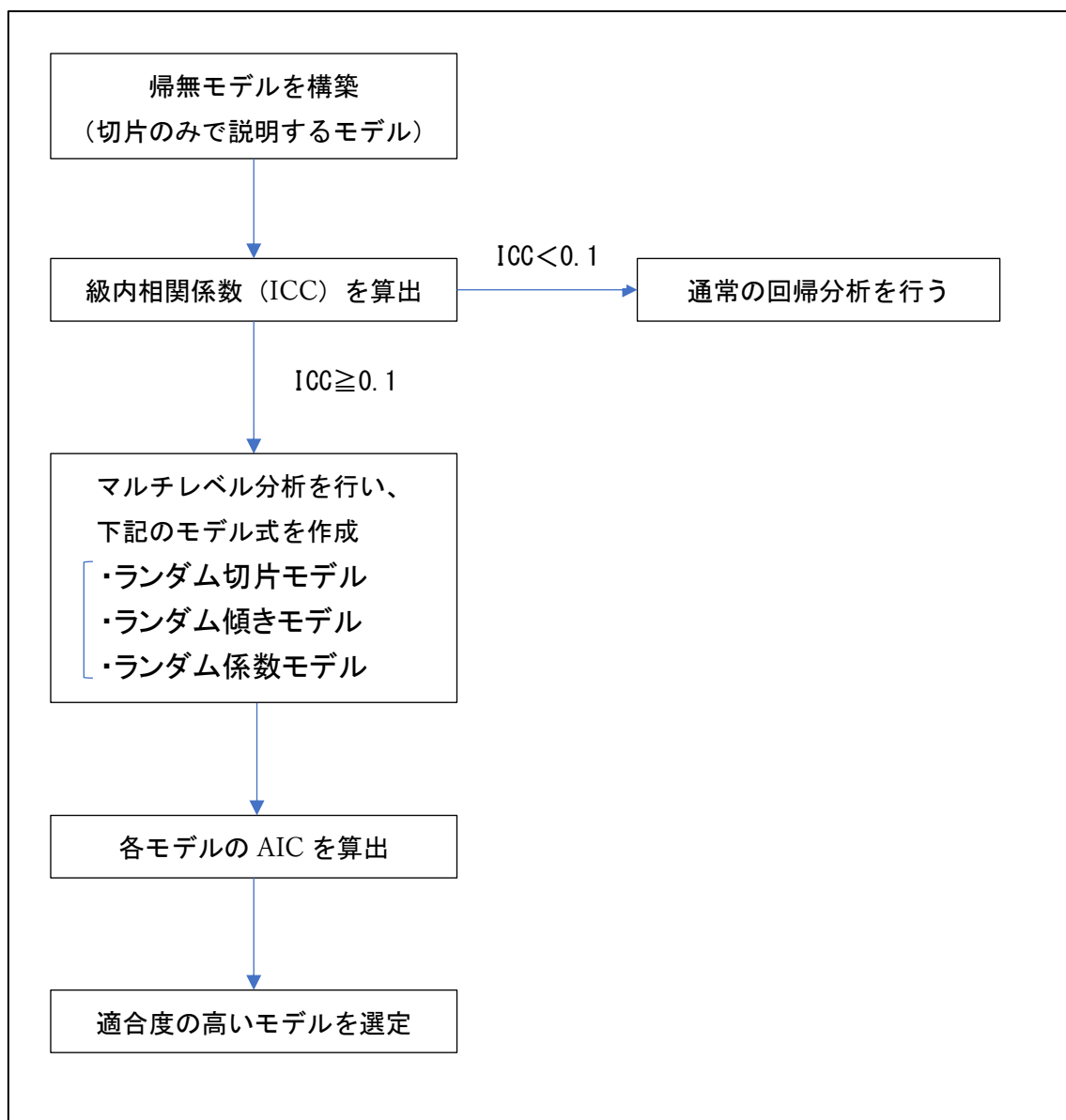


図4-5 分析の流れ

4-2-2-3 分析結果

まず、LP 面積を目的変数とした帰無モデルを作成し、級内相関係数を算出した（表 4-10）。級内相関係数 (ICC) は 0.514 であり、判別値 0.1 以上であるため、マルチレベル分析が推奨される結果が示された。

次に、マルチレベル分析を行い、各モデルの推定値・分散・AIC を算出した（表 4-11）。分析の際には、ランダム切片モデル・ランダム傾きモデル・ランダム係数モデルの 3 種類のモデルを検討した。説明変数にはレベル 1（ルート）の変数として、歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミーを、レベル 2（個人）には安静時 LP 面積・歩行速度・運動頻度を投入した。変量効果には切片と街路の空間構成要素である歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミーを選定し、それぞれの組合せごとに分析を行った。ランダム傾きモデルは、変量効果を歩道幅員ダミーのみ・傾斜角度ダミーのみ・歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミー両方の 3 モデルを構築した。ランダム係数モデルは変量効果を歩道幅員ダミーと切片・傾斜角度ダミーと切片・歩道幅員ダミーと傾斜角度ダミーと切片の 3 モデルを構築した。

表 4-11 の結果より、ランダム切片モデルの AIC が最も小さく、適合度が高いモデルであることがわかった。固定効果のレベル 1 の説明変数に着目すると歩道幅員ダミーが 5% 有意で正の係数を示しており、幅員が 2m 以上確保されている場合は LP 面積が大きくなり、ストレスが減少することがわかる。また、傾斜角度ダミーに着目すると、1% 有意で負の係数を示しており、傾斜角度が 1 度以上の街路の場合はストレスが増大することがわかる。次にレベル 2 の説明変数に着目すると、安静時 LP 面積が 1% 有意で正の係数を示しており、安静時の値が大きいほど、歩行時の値が大きくなる関係であることがわかる。歩行速度は 1% 有意で負の係数を示しており、歩行速度が上昇するほど、身体への負荷が高くなり、ストレスの増大につながることをわかる。運動頻度は 1% 有意で正の係数を示しており、運動頻度が高いほど身体への負荷が小さくなることをわかる。また、切片の分散を確認すると、有意ではなく、各回帰式の切片の差が無視できるほど小さいことが示された。

表 4-10 帰無モデル (N=90)

		推定値	標準誤差
固定効果	切片	$0.961 \times 10^{-3**}$	$0.247 \times 10^{-3**}$
変量効果	残差の分散	$3.238 \times 10^{-7**}$	$0.500 \times 10^{-7**}$
	切片の分散	3.433×10^{-7}	2.308×10^{-7}
赤池情報量基準 (AIC)		-1054	
級内相関係数 (ICC)		0.514	

** : 1% 有意 * : 5% 有意

表 4-11 マルチレベル分析の結果 (N=90)

		推定値 ($\times 10^{-3}$)						
レベル	説明変数	ランダム切片モデル 切片	ランダム傾きモデル			ランダム係数モデル		
			歩道	傾斜	歩道, 傾斜	歩道, 切片	傾斜, 切片	歩道, 傾斜, 切片
固定効果	— 切片	2.316**	2.382**	2.396**	2.379**	2.396**	2.396**	2.396*
	レベル1 歩道幅員ダミー	0.257*	0.256	0.256*	0.256*	0.256*	0.256*	0.256*
	ルート 傾斜角度ダミー	-0.513**	-0.513**	-0.514**	-0.513**	-0.514**	-0.514**	-0.514**
	レベル2 安静時 LP 面積	0.245**	0.244**	0.243**	0.244**	0.243**	0.243	0.243
	個人 歩行速度	-0.431**	-0.444**	-0.447**	-0.443**	-0.447**	-0.447**	-0.447*
	運動頻度	1.382**	1.343**	1.375**	1.335**	1.375**	1.375*	1.375
		分散 ($\times 10^{-7}$)						
変量効果	— 残差	2.584	2.625	2.673	2.586	2.554	2.521	2.485
	— 切片	0.060				0.000	0.000	0.000
	レベル1 歩道幅員ダミー		0.091		0.808	0.070		0.034
	ルート 傾斜角度ダミー			0.000	0.000		0.598	0.500
—	AIC	-1009	-1008	-1008	-1004	-1004	-1004	-998

** : 1%有意 * : 5%有意

4-2-3 分析結果のまとめ

次に重回帰分析とマルチレベル分析の結果をまとめ（表 4-12）、比較を進めていく。推定値を確認すると、正負は全て一致していることわかる。また、推定値は歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミー・安静時 LP 面積・運動頻度がほぼ同じ値を示している。歩行速度に関しては、重回帰分析の推定値が-0.447 であるのに対し、マルチレベル分析の推定値が-0.431 で、若干、大きな値となった。これは、マルチレベル分析において、参加者ごとの回帰式を求めたため、個人差による影響が小さくなったためだと考えられる。また、有意確率を確認すると、推定値の正負と同様にすべての説明変数で一致している。

以上より、重回帰分析とマルチレベル分析の結果に大きな違いはないことがわかった。これは、投入した個人属性が調整変数として十分な説明力を有しており、参加者ごとのデータ差を説明できたからだと考えられる。しかし、級内相関係数が大きく、参加者ごとのデータ差が無視できない結果だったため、歩行時ストレス評価モデルを構築する際には、マルチレベル分析の結果を用いることとする。

表 4-12 重回帰分析とマルチレベル分析の結果の比較

		推定値 ($\times 10^{-3}$)	
レベル	説明変数	ランダム切片モデル	重回帰分析
固定効果	— 切片	2.316**	2.396**
	レベル 1 歩道幅員ダミー	0.257*	0.256*
	ルート 傾斜角度ダミー	-0.513**	-0.514**
	レベル 2 安静時 LP 面積	0.245**	0.243**
	個人 歩行速度	-0.431**	-0.447**
	運動頻度	1.382**	1.375**
		分散 ($\times 10^{-7}$)	分散 ($\times 10^{-7}$)
変量効果	— 残差	2.584	—
	— 切片	0.060	—
	— AIC	-1009	—

** : 1%有意 * : 5%有意

4-3 歩行時ストレス評価モデルの構築と適用

4-3-1 歩行時ストレス評価モデルの構築

マルチレベル分析の結果から歩行時ストレス評価モデルを構築する。まず、LP 面積を推計するモデル式(3)を構築した。また、LP 面積が小さいほどストレスが高いことを示しているので、LP 面積を逆数に取り、歩行時ストレス評価モデル式(4)を構築した。切片に関しては、分散が有意ではなく、参加者ごとの切片の差が無視できるほど十分に小さいため、全体切片の値をモデル式に用いた。

$$LP = (0.245 \times X_1 - 0.431 \times X_2 + 1.382 \times X_3 + 0.257 \times X_4 - 0.513 \times X_5 + 2.316) \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$St = 1/LP \quad (4)$$

LP : LP 面積(s²)

X₁ : 安静時 LP 面積(s²)

X₂ : 歩行速度(km/h)

X₃ : 運動頻度(週 3 日未満=0, 週 3 日以上=1)

X₄ : 歩道幅員(2m 未満=0, 2m 以上=1)

X₅ : 傾斜(1 度未満=0, 1 度以上=1)

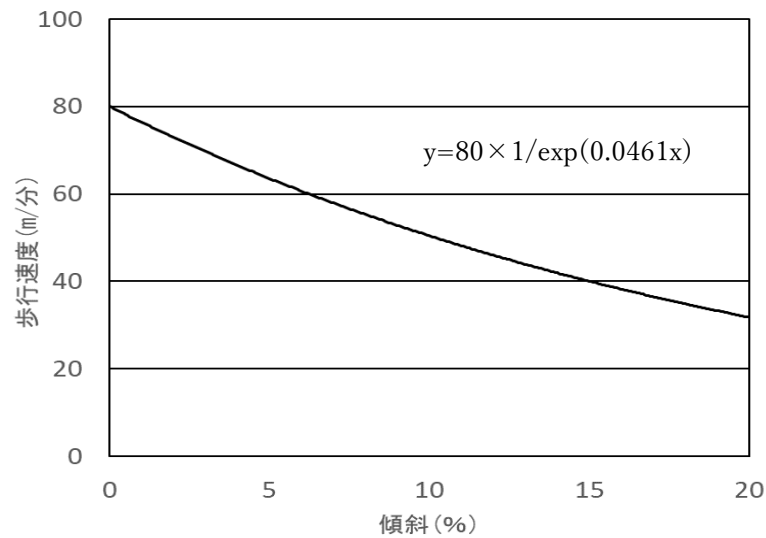
St : 歩行時ストレス量(s²/分)

4-3-2 歩行時ストレス評価モデルの適用

4-3-1 節にて、構築した歩行時ストレス評価モデル (4) 式を用いて、本研究の対象地域の全街路の歩行時ストレス量を推計する。変数として投入する値は表 4-14 の通りである。安静時 LP 面積に関しては、歩行実験データの平均値を全ての街路に適用した。歩行速度は猪井ら (2007)⁸⁾ の研究における、歩行速度と傾斜の関係式 (図 4-6) から全街路における歩行速度を算出し、適用した。運動頻度は、厚生労働省が平成 29 年に実施した国民健康・栄養調査の結果にて、運動習慣 (週二日以上、一回 30 分以上) 無しが全体で 68.2%と過半数を超えていたことから、0 として投入した。歩道幅員ダミーは、MAPPLE 歩行者ネットワークデータの歩道幅員データから 2m 以上を 1、2m 未満を 0 としたデータを作成し、投入した。同様に傾斜角度ダミーも MAPPLE 歩行者ネットワークデータの勾配データから傾斜角度を算出し、傾斜角度が上り 1 度以上を 1、1 度未満を 0 とした属性データを作成し、投入した。

表 4-13 説明変数として投入する値

説明変数名		投入する値
(調整変数) 個人属性	安静時 LP 面積	実験の心拍変動データより算出した LP 面積の平均値 (s^2)。
	歩行速度	猪井ら (2007) の研究における、歩行速度と傾斜の関係式から算出した値。傾斜の勾配に関しては、MAPPLE 歩行者ネットワークデータより取得。
	運動頻度	国民健康・栄養調査 (平成 29 年) より 0 を投入。
空間構成要素	歩道幅員ダミー	MAPPLE 歩行者ネットワークデータの歩道幅員データから作成した幅員 2m 未満=0、幅員 2m 以上=1 とした属性データ。
	傾斜角度ダミー	MAPPLE 歩行者ネットワークデータの勾配データから作成した上り坂で傾斜 1 度未満と下り坂全て=0、傾斜 1 度以上=1 とした属性データ。

図 4-6 歩行速度と傾斜の関係式⁸⁾

歩行時ストレス評価モデルに上述の値を投入し、対象地域の全街路の歩行時ストレス量を推計した。また、推計した結果を地図上に可視化した（図 4-7）。

図 4-7 を確認すると、国道や都道など比較的広い幅員の道路においてストレス量が小さいことがわかる。国道や都道に面した歩道は幅員が 2m 以上確保されている箇所がほとんどであったため、歩行時ストレス量が小さい傾向を示したと考えられる。

逆に神宮前 1 丁目（図 4-7・A）と 2 丁目（図 4-7・B）と 3 丁目（図 4-7・C）においてはストレス量が多い傾向であることが示された。神宮 1 丁目周辺は坂道が多く、傾斜が厳しい街路が多いため、歩行時ストレス量が増大したと考えられる。神宮 2 丁目においては歩道幅員が狭い箇所や、歩道車道が分離されていない街路が多く、かつ、高低差が激しいため、単位ストレス量が大きくなったと考えられる。3 丁目においては、2 丁目と比較すると、高低差のある街路は少ないものの、狭幅員の街路が多く、単位ストレス量が多い結果となった。以上の結果より、神宮前 1・2・3 丁目の歩道幅員の拡幅など、環境整備を優先的に行う必要があるといえる。

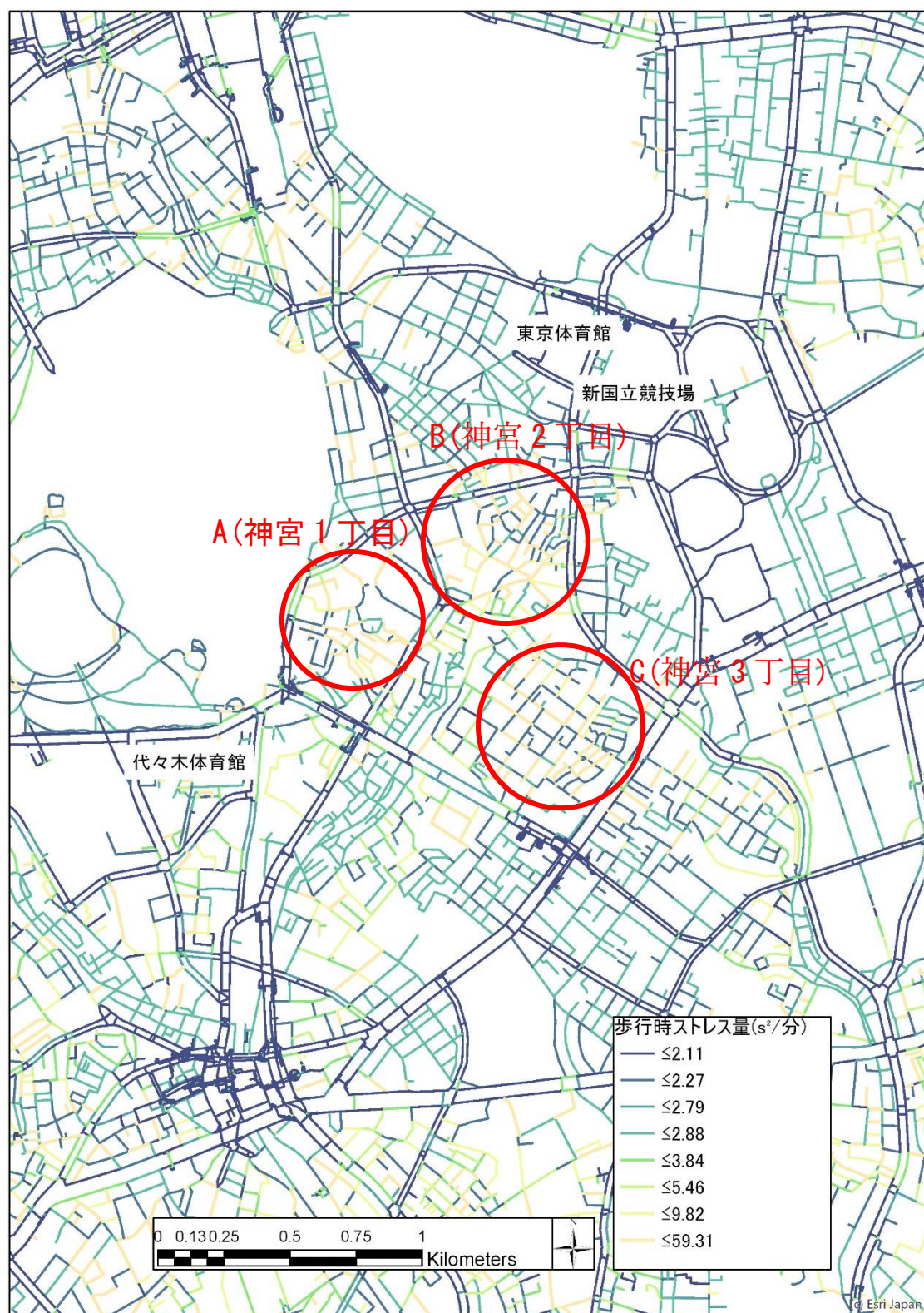


図 4-7 街路の歩行時ストレス推計結果



Aエリアの街路



Bエリアの街路



Cエリアの街路

図 4-8 歩行時ストレス量が高い街路 (A・B・C エリア)

4-4 まとめ

本章では、歩行実験の結果から歩行時ストレス評価モデルの構築を行った。

まず、4-1 節ではモデルに用いる変数を整理し、変数間の関連性の確認を行った。量的変数間は相関分析を、質的変数間は χ^2 検定を、量的変数と質的変数間では相関比を用いて、変数間の関連性を確認した。その結果、歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミー・安静時 LP 面積・歩行速度・運動頻度の 5 つの変数が説明変数の候補として選定された。

4-2 節では、LP 面積を目的変数、上記 5 つの変数を説明変数とした重回帰分析とマルチレベル分析を行った。両分析ともに 5 つの説明変数が有意を示した。また、重回帰分析において算出した調整済み決定係数から、得られた結果が予測モデル構築に十分な説明力を有していることがわかった。マルチレベル分析では、級内相関係数の値から参加者ごとのデータ差が大きいことがわかった。その結果から、歩行時ストレス評価モデルを構築する際にはマルチレベル分析の結果を用いる必要があることが示された。また、ランダム切片モデル・ランダム傾きモデル・ランダム係数モデルの 3 種類のモデルを検討したが、ランダム切片モデルが最も適合度が高いことが判明した。街路空間構成要素の係数に着目すると、歩道幅員ダミーが正の係数を示しており、幅員が 2m 以上確保されている街路はストレス量が低いことが示された。また、傾斜角度ダミーは負の係数を示しており、上り坂で傾斜が 1 度以上の街路はストレス量が増大することが示された。以上より、歩行時ストレス評価モデルではランダム切片モデルを用いて構築することとした。

4-3 節ではまず、4-2 節の結果から LP 面積を推計するモデル式を構築した。また、LP 面積はストレスが増大するほど、小さい値を示すので、LP 面積の逆数を取った式を歩行時ストレス評価モデルとして構築した。その後、モデル式を用いて対象地域の全街路のストレス量を推計した。その結果、対象地域において 3 つの地域にストレス量が高い街路が集中していること、国道や都道に面している街路はストレス量が低いことがわかった。

次の 5 章では、4 章で算出した、全街路のストレス量を用いてネットワーク分析を進めていく。また、ネットワーク分析の結果から、立ち寄りにくい地域がないか確認し、歩行空間の環境整備に関して、考察を進める。

参考文献

- 1) 柴田 史奈, 丹羽 由佳里, 大家 弘也, 伊藤香織(2017)「街路歩行時に高齢者が感じる負担ーシルバーカーの有無による差異ー」『日本建築学会計画系論文集』, Vol. 82, No. 732, pp451-457, 日本建築学会
- 2) 丹羽 由佳里, 高橋 真有, 伊藤 香織(2016)「地下鉄駅内外の空間バリアがベビーカー利用者の駅アクセスに与える影響」『都市計画学会論文集』, Vol. 51, No. 3, pp1220-1225, 日本都市計画学会
- 3) 松島 一剛, 長澤 夏子, 渡辺 仁史(2010)「駅構内通路歩行時における混雑によるストレスを緩和・軽減させる空間デザインに関する研究」『日本建築学会関東支部研究報告集』, No. 80, pp225-228, 日本建築学会
- 4) 鈴木 弘司, 今井 克寿, 藤田 素弘(2014)「自転車利用者の主観評価と客観評価に着目した幹線街路の QOS 評価手法に関する研究」『土木計画研究・論文集』Vol. 70, No. 5 , pp. I_1095-I_1106, 土木学会
- 5) 国土地理院 基盤地図情報ダウンロードサービス
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> 最終閲覧日 平成 30 年 12 月 23 日
- 6) 昭文社, MAPPLE, 歩行者ネットワークデータ
- 7) 三輪 哲, 林 雄亮(2014)『SPSS による応用多変量解析』オーム社
- 8) 猪井 博登, 中岡 亮(2007)「坂道での身体的負担を考慮したコミュニティバスのアクセス性改善効果に関する研究」『土木計画学研究・講演集』 Vol. 36

第 5 章

立ち寄りやすさの定量的評価

第5章 立ち寄りやすさの定量的評価

5-1 街路ネットワーク分析

本章では街路ネットワーク分析を用いて、競技会場周辺地域の立ち寄りやすさの定量的評価を進めていく。街路ネットワーク分析に関して詳細を調査したところ、特定の地域の回遊性や立ち寄りやすさ・アクセシビリティなどの評価を行う研究が散見された。分析手法は多岐にわたるが、1-2節にて既往研究を確認したところ、その中でも中心性指標を用いた分析が多く行われていることがわかった^{1) 2)}。また、本研究の目的である立ち寄りやすさの評価に適した手法であることが判明した。そこで、本研究では街路ネットワーク分析として中心性指標を用いた分析を採用する。

街路ネットワーク分析には移動コストとして、距離や移動時間が用いられることが多いが、発展形の分析として、独自の移動コスト式を構築し、分析を行う研究が散見される。大佛・田中ら(2017)³⁾は経路の道路幅員やターン回数の少なさなどを用いて移動コスト式を構築し、分析を行っている。また、大佛・津田ら(2012)⁴⁾は徒歩移動に加え、鉄道移動の抵抗や坂道移動の抵抗を設定した移動コスト式を構築し、アクセシビリティ評価を行っている。移動コスト式を構築し、街路ネットワーク分析を行うことにより、地域の街路環境や都市環境を考慮した評価が可能となる。そこで、本研究では、移動時間に歩行時ストレス量を重みづけした移動コスト式を構築し、街路ネットワーク分析を進める。歩行時ストレス量で重みづけし分析することにより、歩行時ストレスの大きな要因となる街路環境(歩道幅員・傾斜)を反映した評価が可能となる。そのため、移動距離をそのまま移動コストとして分析した場合と比べ、ストレスが大きい街路を通過する必要がある地域は立ち寄りやすさの評価が低くなるのではないかと考えられる(図5-1)。また、評価結果を地図上に可視化することにより、どの地域の街路を優先的に整備してすべきか考察を進めることが可能となる。

5章では、まず、中心性指標について整理し、本研究に適した分析の設定や条件を決定する。次に、4章で明らかにした歩行時ストレス評価モデルから移動コスト式を構築する。そして、構築した移動コスト式をもとに、街路ネットワーク分析を用いて、競技施設周辺地域の立ち寄りやすさの定量的評価を行う。また、評価結果から、優先的に整備すべき地域や街路について考察を進める。

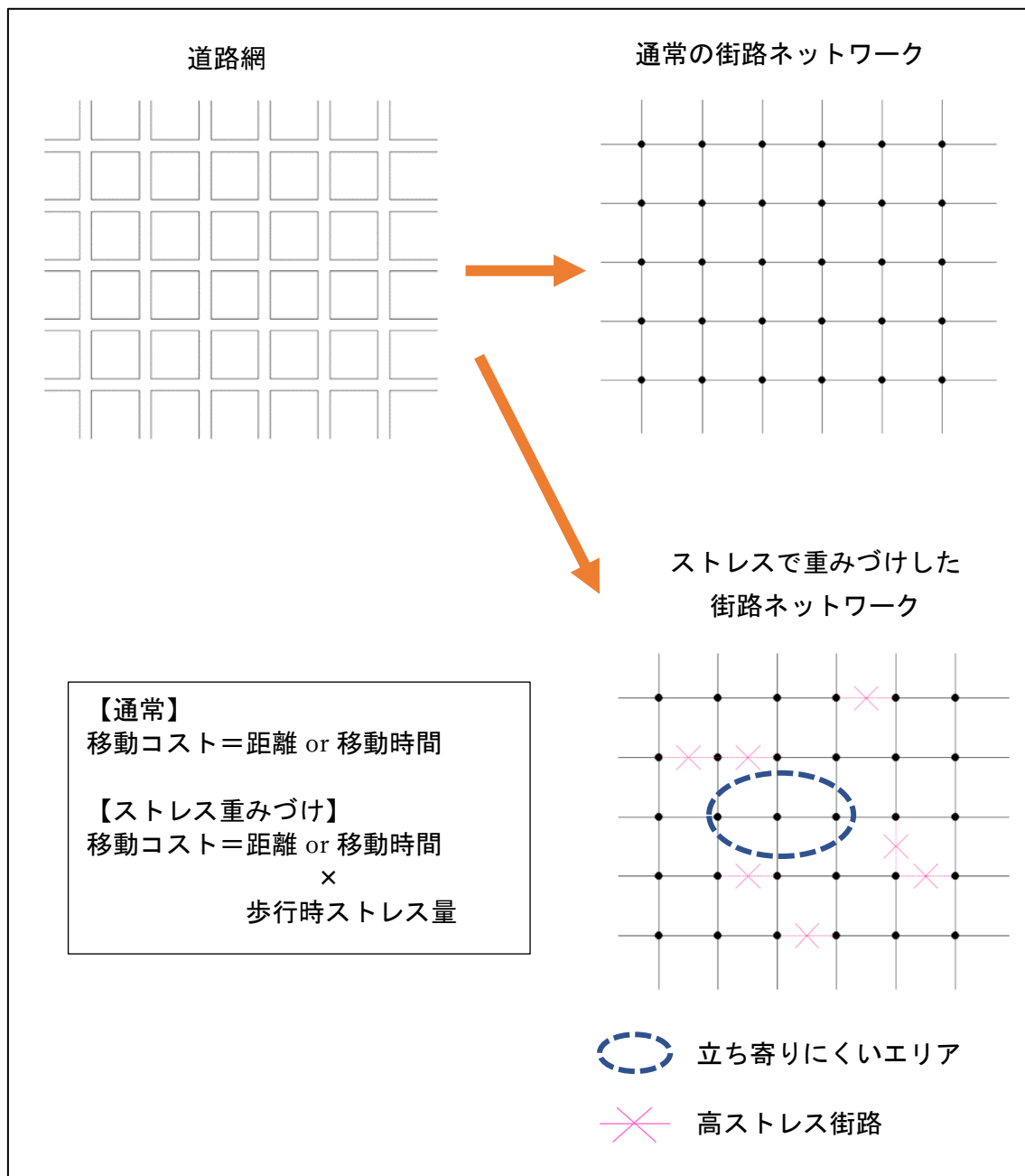


図 5-1 街路ネットワーク構築の概念図

5-1-1 中心性指標

中心性指標は社会学から情報工学、都市工学と様々な分野で用いられている指標である。社会学の分野では、人と人のつながりをネットワークとして構築し、分析を行う研究が散見される⁵⁾。近年では、TwitterなどのSNSにおいてフォロワー同士のネットワークを構築し、フォロワー関係性や中心人物について言及するといった研究が行われている。情報工学の分野では、webページのリンクからネットワークを構築し、ハブとなるページはどこか等の分析を行う研究が進められている。都市工学では、街路をネットワークとして構築し、中心となる地点や人が集中しやすい場所について言及するといった研究が進められている。

中心性指標は次数中心性や近接中心性・媒介中心性など様々な指標があるが、都市工学の分野では主に媒介中心性を用いた分析が多く行われている。永杉ら(2014)¹⁾は、駅を中心とした商業地域の街路をネットワークとして構築し、各交差点の媒介中心性を算出している。また、算出した評価値のばらつき度合いから、回遊性に関して評価を行っている。また、福山ら(2012)²⁾は永杉らと同様に分析を行い、媒介中心性の評価値とその地点を通過する歩行者量との相関関係を示している。上述したように、媒介中心性は回遊性や歩行者量との関係性についての分析に適している。また、伏見ら(2015)⁶⁾は媒介中心性に距離の概念を加えた回遊中心性を提案しており、特定の地域の立ち寄りやすさについて言及している。

本研究では、立ち寄りやすさの定量的評価を行うことを目的として、回遊中心性が分析手法として適していると考えられる。そこで、まず、媒介中心性について整理し、その後、発展形である回遊中心性について整理していく。また、本研究の分析に適した条件設定について考察を進める。

5-1-1-1 媒介中心性

媒介中心性は中継地点としての機能を定量的に評価する指標である⁵⁾。あるネットワークにおいてあるノードからノードへ移動するときに特定のノードを通過する最短経路数が多いほど、評価値が高くなる。評価値の算出には以下の(1)式を用いて計算する。まず、ネットワークにおけるノード*i*からノード*j*に向かう最短経路数(V_{ij})を計算する。その後、任意のノード*k*を経由し、ノード*i*からノード*j*に向かう最短経路数($V_{ij}(k)$)を計算する。そして、ノード*k*を経由する最短経路数($V_{ij}(k)$)を経由しない最短経路数(V_{ij})で除した値が、評価値である媒介値となる。

$$BC = \sum_{i,j} \frac{V_{ij}(k)}{V_{ij}} \quad (1)$$

BC:媒介値

V_{ij} : ノード $i \rightarrow j$ の間の最短経路数

$V_{ij}(k)$: ノード k を経由する、ノード $i \rightarrow j$ の間の最短経路数

計算例を図 5-2 のネットワーク(リンク距離は全て 1 とする)を用いて、紹介する。D の媒介値を計算する場合、

- ・ $A \rightarrow G$ への最短経路数は 3 本(移動コストは 4)
- ・ $A \rightarrow G$ への最短経路の内、D を通る経路数は 1 本

$$\rightarrow \frac{V_{ag}(d)}{V_{ag}} = \frac{1}{3}$$

となる。この計算を $A \rightarrow G$ 以外の全ての組み合わせで行い、合計値を算出する。

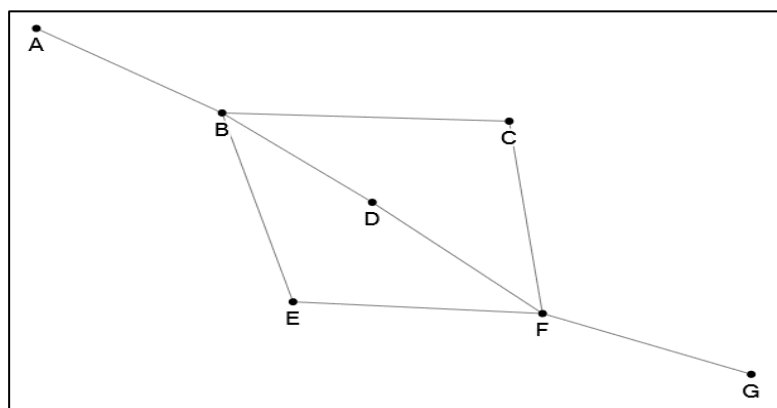


図 5-2 ネットワーク図 (例)

また、ネットワークごとに評価値を算出し、比較を行う場合は、以下の (2) 式を用いて基準化する。媒介値はネットワークが大きくなればなるほど、値が大きくなるため、ネットワークに属するノードの総数を用いて、基準化を図る。基準化により媒介中心性 C_b が算出される。(2) 式の分母は、媒介値の理論上の最大値である。そのため、算出した媒介中心性の値は 0 から 1 の範囲となる。

$$C_b = \frac{2BC}{(n-1)(n-2)} \quad (2)$$

C_b :媒介中心性

n : ノードの総数

5-1-1-2 回遊中心性

回遊中心性はある地点の立ち寄りやすさを定量的に評価する指標である。媒介中心性はネットワークのリンク距離を全て1として計算を行っている。つまり、ノードとノードが接続しているかどうかという点にのみに着目している。しかし、実際の街路は道路ごとに距離が異なるため、現実の都市を十分に反映しているとは言えない。そこで、媒介中心性に距離の概念を加えた指標として回遊中心性が提案された⁶⁾。回遊中心性の算出は以下の(3)式を用いて計算される。まず、ネットワークにおけるノード*i*からノード*j*に向かう最短経路の距離($d(i, j)$)を算出する。その後、ノード*k*を経由し、ノード*i*からノード*j*に向かう最短経路の距離($D(i, j; k)$)を算出する。そして、ノード*i*からノード*j*に直接向かう距離をノード*k*を経由した時の距離で除した値を算出する。

$$DC(k) = \sum_{i \neq j}^n \frac{d(i, j)}{D(i, j; k)} \quad (3)$$

$d(i, j)$: ノード*i*→*j*の最短距離

$D(i, j; k)$: ノード*i*→*k*→*j*の最短距離

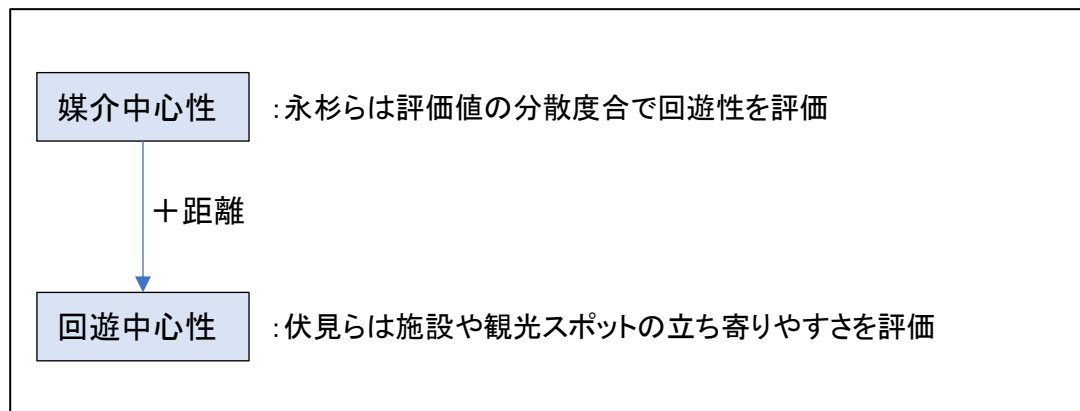


図 5-3 回遊中心性の概念

図 5-4 のネットワークを用いて計算した例を紹介する。

地点 k の回遊中心性を計算する場合、

- ・ $i \rightarrow k$ の距離は 400m
- ・ $i \rightarrow k \rightarrow j$ の距離は $300 + 200 = 500(m)$

$$\rightarrow \frac{d(i,j)}{D(i,j;k)} = \frac{400}{500} = 0.8$$

となる。ノードが複数、存在する場合は、他のノードの全ての組み合わせを計算する。
このように、回遊中心性は出発地点から終着地点へ向かう際に、ある地点を立ち寄った時に、どれだけ遠回りをせずに移動できているかといった評価を行っている。

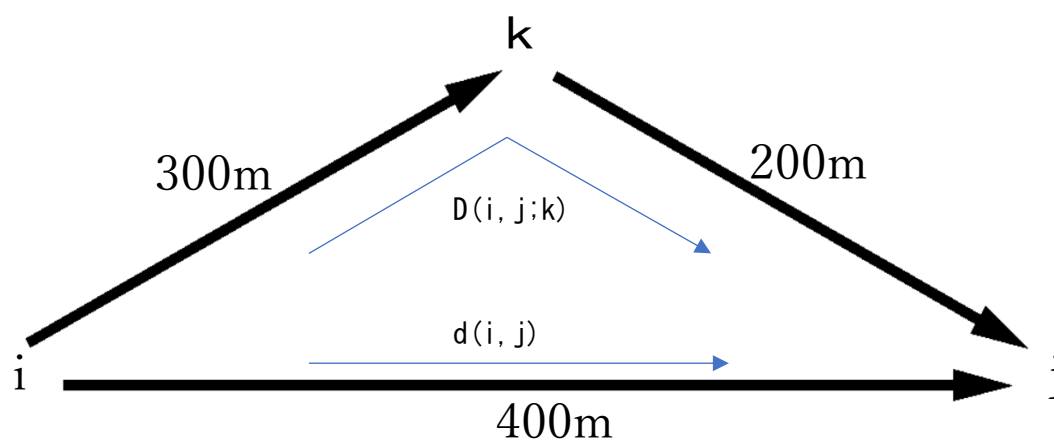


図 5-4 回遊中心性ネットワーク図 (例)

5-1-2 立ち寄りやすさの定量的評価方法の提案

回遊中心性の評価方法は「施設間の移動の負担(距離・時間)をもとに施設への立ち寄りやすさ」を評価する方法として適しているといえる。しかし、回遊中心性は出発点・終着点全てのノードを組み合わせて計算している。その場合、現実ではありえないような移動を想定し、評価を行ってしまうこととなり、本研究で対象とする移動を適切に表現しているとはいえない。

そこで、本研究では出発点を競技会場、終着点を駅に固定し、算出した値を立ち寄りやすさ評価値として提案する。上記の条件を加えることにより、本研究において想定している立ち寄り行動に則した分析が可能となる。

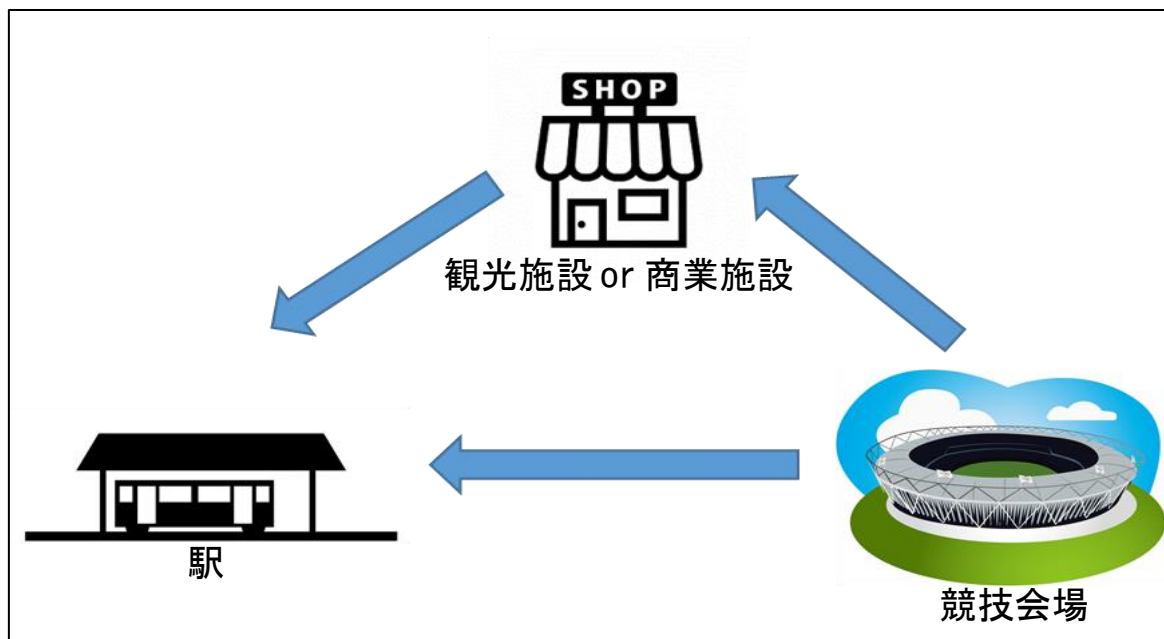


図 5-5 本研究の立ち寄りやすさ評価値の算出方法

5-1-2-1 競技会場と利用想定駅

立ち寄りやすさ評価値の分析にあたり、各競技会場における利用想定駅を選定する必要がある。対象の競技会場は新国立競技場・東京体育館・代々木体育館の3施設である。まず、上記の各会場における利用者が駅まで徒歩で移動する最大距離を決定する。

そこで、2-2-1 節の対象地域の選定にて上述したように、歩行者の回遊距離を駅までの最大徒歩距離として定義する。対象施設である新国立競技場・東京体育館・代々木競技場は渋谷区に立地していることから、最大徒歩距離は都心商業地域を対象に調査を行った、小谷ら（2017）⁷⁾ が示した回遊距離を参照すべきと考えられる。そこで、上記の3施設の駅までの最大徒歩距離を1600mに設定し、各会場からの距離圏を地図上に可視化した。その結果、表5-1に示した駅が選定された。以降の立ち寄りやすさ評価値の算出の際には、競技会場から表5-1に示した駅へ移動することを想定し、分析を行う。

表 5-1 利用想定駅

競技会場	利用想定駅
新国立競技場	千駄ヶ谷駅、国立競技場駅、外苑前駅、信濃町駅、北参道駅、青山一丁目駅、原宿駅
東京体育館	千駄ヶ谷駅、国立競技場駅、信濃町駅、
代々木体育館	原宿駅、明治神宮前駅、渋谷駅

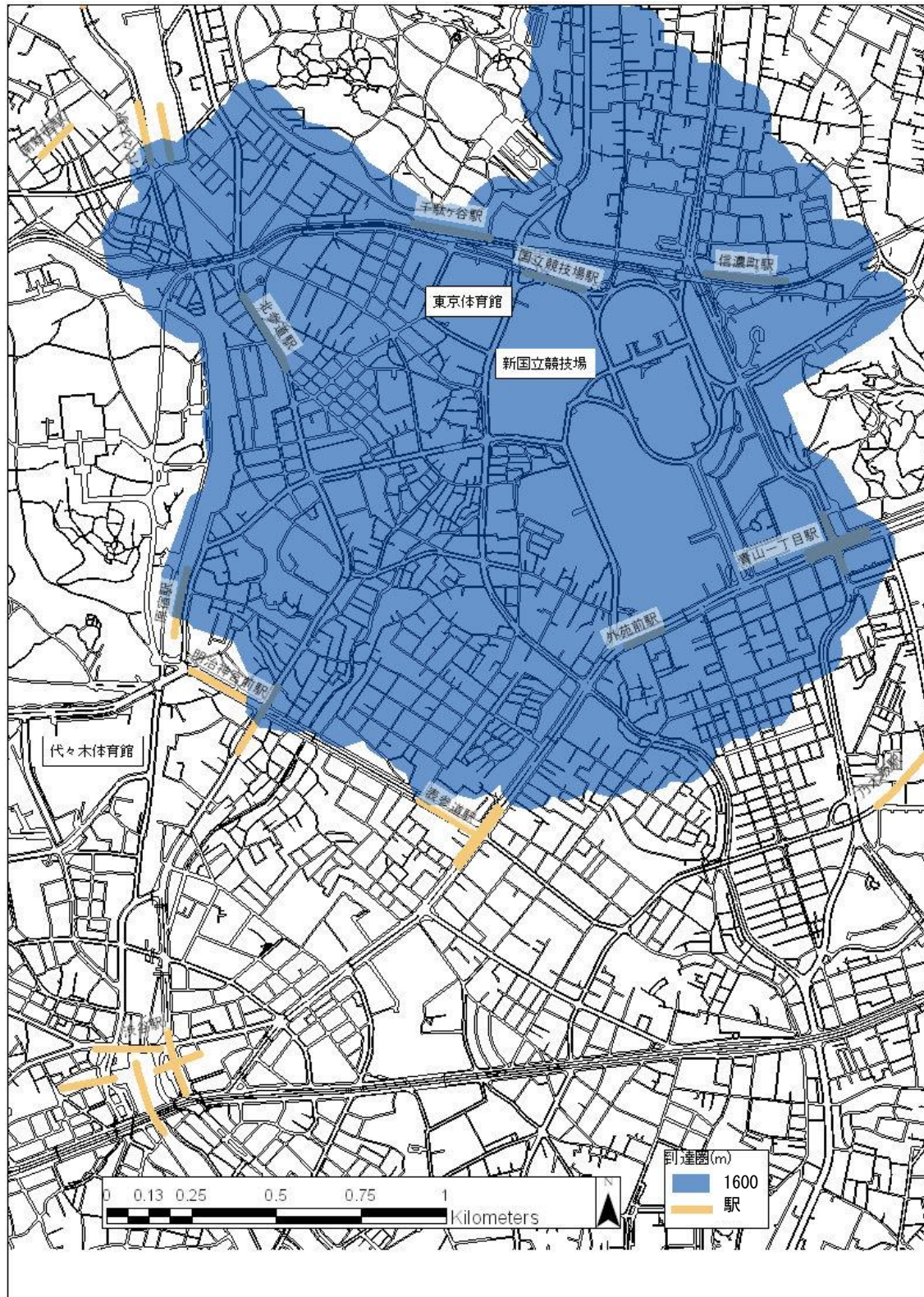


図 5-6 新国立競技場_最大徒歩距離

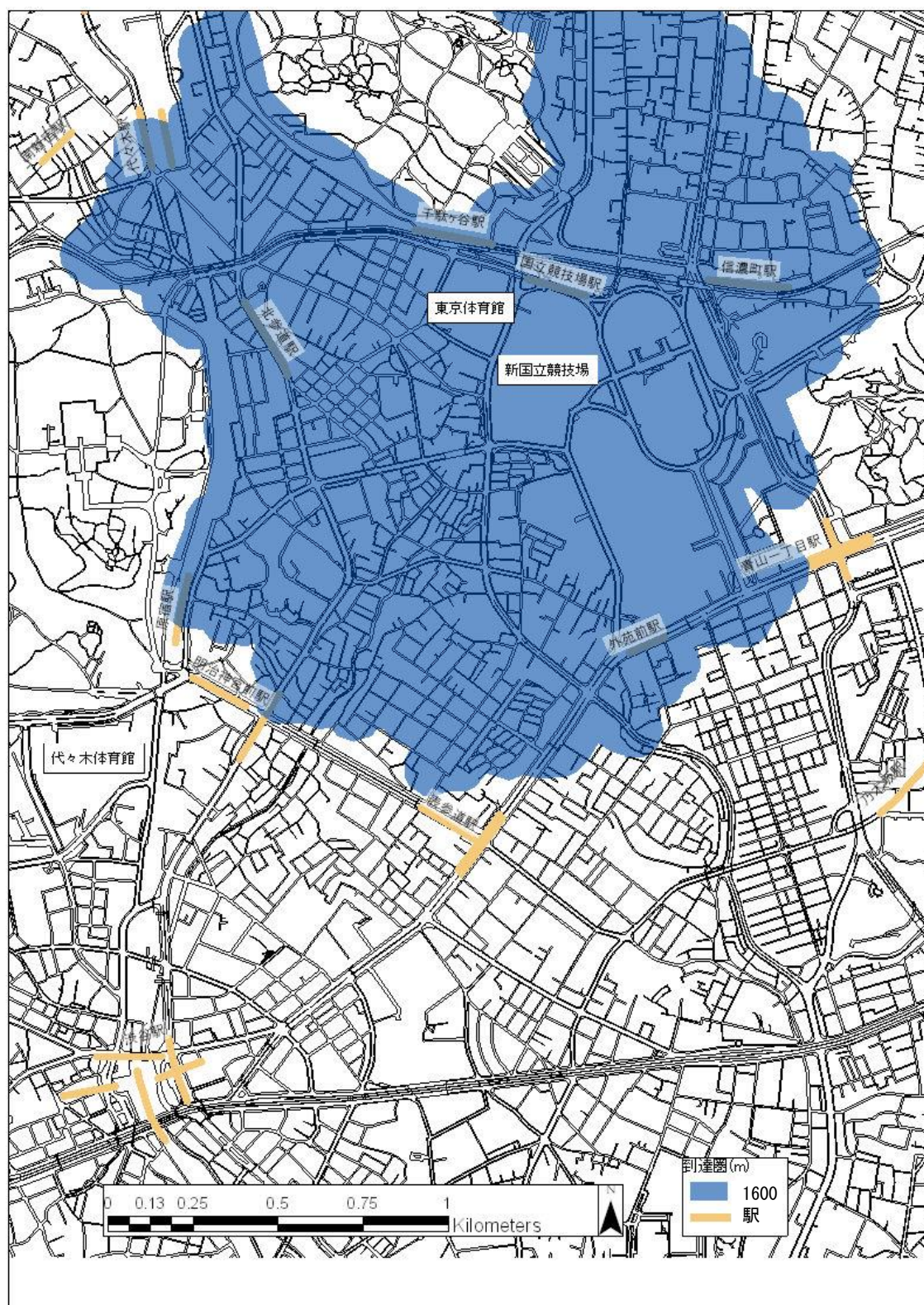


図 5-7 東京体育館_最大徒歩距離

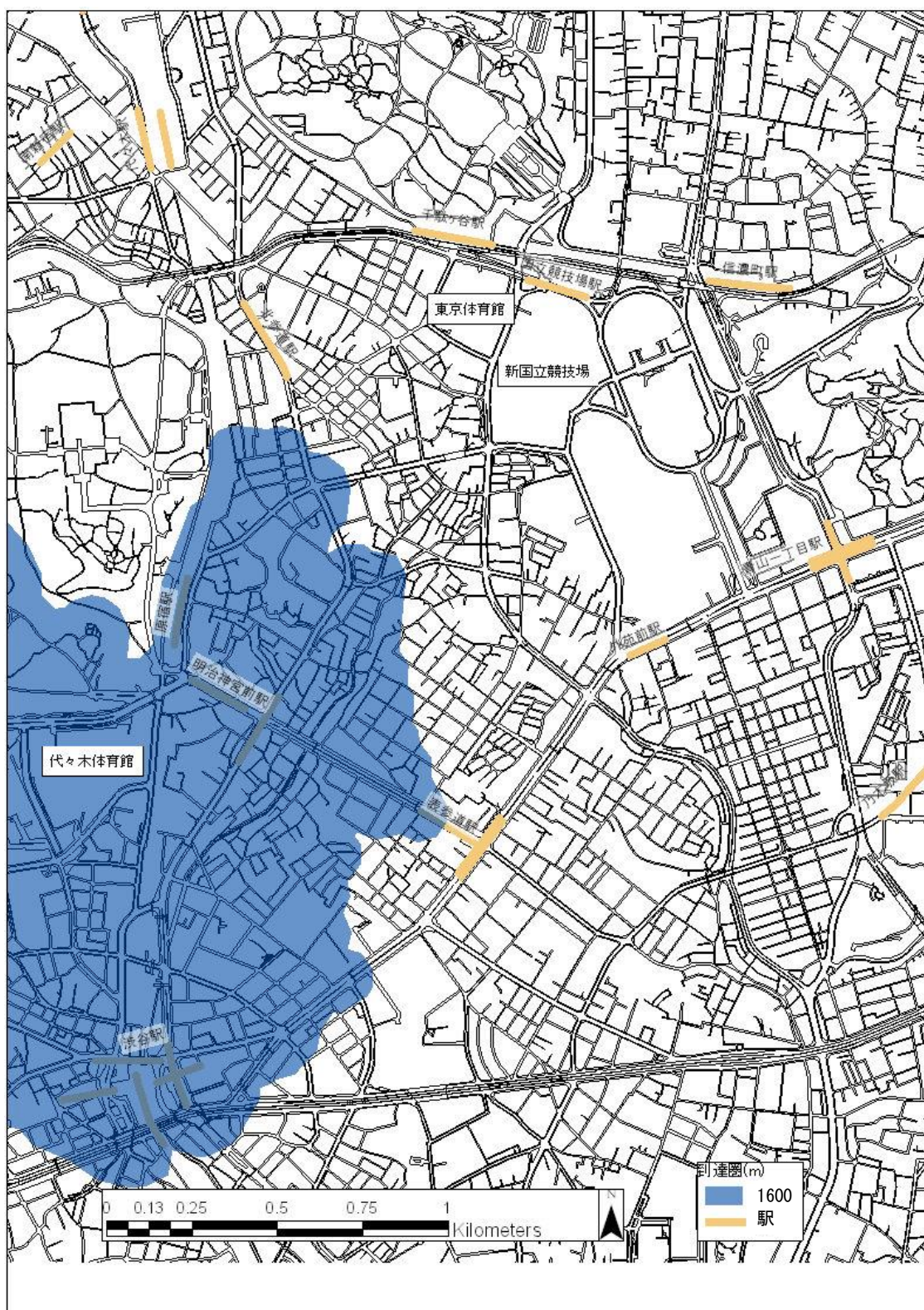


図 5-8 代々木体育館 最大徒歩距離

5-2 移動コスト式の構築

本研究では分析に用いる移動コストとして、移動時間に各街路の歩行時ストレス量を乗じた「移動負荷」を用いる。移動負荷は「歩行時に感じる歩きにくさ」と定義する。上記の条件より、分析においては移動負荷の計算には以下の(4)・(5)式を用いる。また、通常の回遊中心性の算出と同様に、(6)式の様に、直接終着点に向かった時の移動コストと特定の地点 k を経由した時の移動コストの比率を算出する。

$$dl(i, j) = \sum L_l \times St_l \quad (4)$$

$$DL(i, j; k) = \sum L_{l;k} \times St_{l;k} \quad (5)$$

$$DC(i, j; k) = \sum \frac{dl(i, j)}{DL(i, j; k)} \quad (6)$$

$d(i, j)$: 出発地点 i から終着地点 j までの最小移動負荷

$D(i, j; k)$: 地点 k を立ち寄る場合の出発地点 i から終着地点 j までの最小移動負荷

$DC(i, j; k)$: 地点 k の立ち寄りやすさ評価値

L_l : 街路 L を通過するときの移動距離(分)

St_l : 街路 L を通過するときの歩行時ストレス量(s^2 /分)

l : 街路番号

5-3 街路ネットワークの構築

分析を行うため、ArcGISDESKTOP を用いてネットワークデータを作成した。ネットワークデータ作成の流れは図 5-9 の通りである。まず、GIS 上に MAPPLE 歩行者ネットワークデータ⁸⁾を挿入した。その後、各リンク属性データ、4 章の歩行時ストレス評価モデルを適用して、各リンク（街路）の歩行時ストレス量を算出した。また、同様に各リンクの移動時間を算出した。移動の条件として、徒歩での移動を想定し、平坦な街路の場合は、分速 80m で移動すると設定した。また、傾斜がある街路に関しては、猪井(2007)⁹⁾らの歩行速度と傾斜の関係式より、歩行速度を算出した。その後、算出した歩行時のストレス量を移動時間に乗じて、各街路の移動負荷を算出した。また、算出した値を属性データとして結合した。そして、ネットワークデータの移動コストを移動負荷に設定し、新規ネットワークデータを作成した。

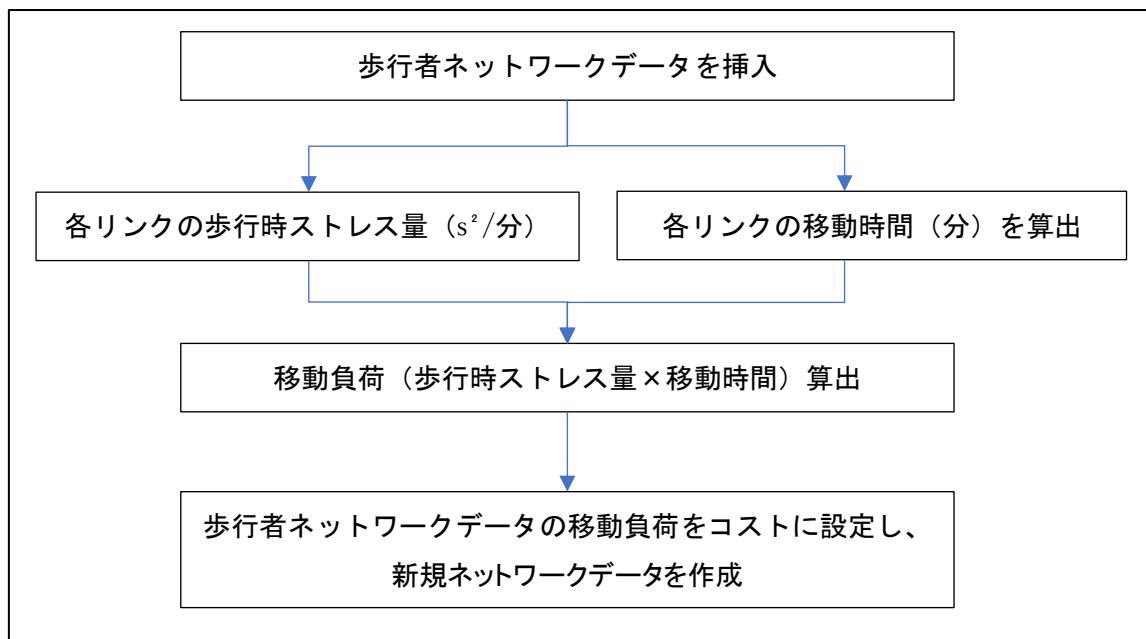


図 5-9 街路の移動負荷を加味したネットワークデータ作成の流れ

5-4 立ち寄りやすさの定量的評価

前節で作成したネットワークデータを用いて、立ち寄りやすさ評価値の算出を行っていく。まずは各競技会場の利用想定駅 1 つずつ評価値を算出していく。その後、それぞれ算出した評価値を合計し、全体の評価値を算出していく（図 5-10）。

ネットワークデータは交差点をノード、街路をリンクとして構築されているので、まずは、各ノードの回遊中心性を算出する。その後、建物データと最近隣のノードを空間結合し、それぞれの建物に回遊中心性を属性データとして付与する（図 5-11）。

また、算出した評価値の値をもとに地図上で色分けし、考察を進めていく。

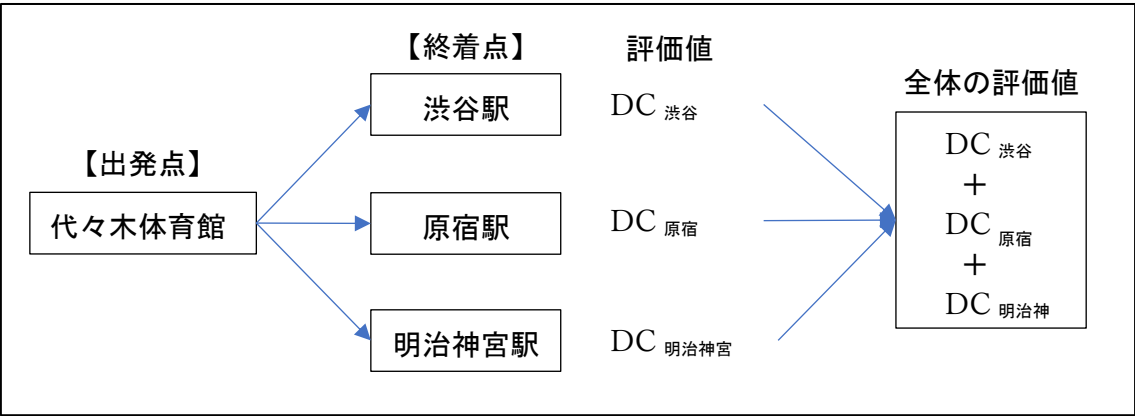


図 5-10 評価値算出の流れ

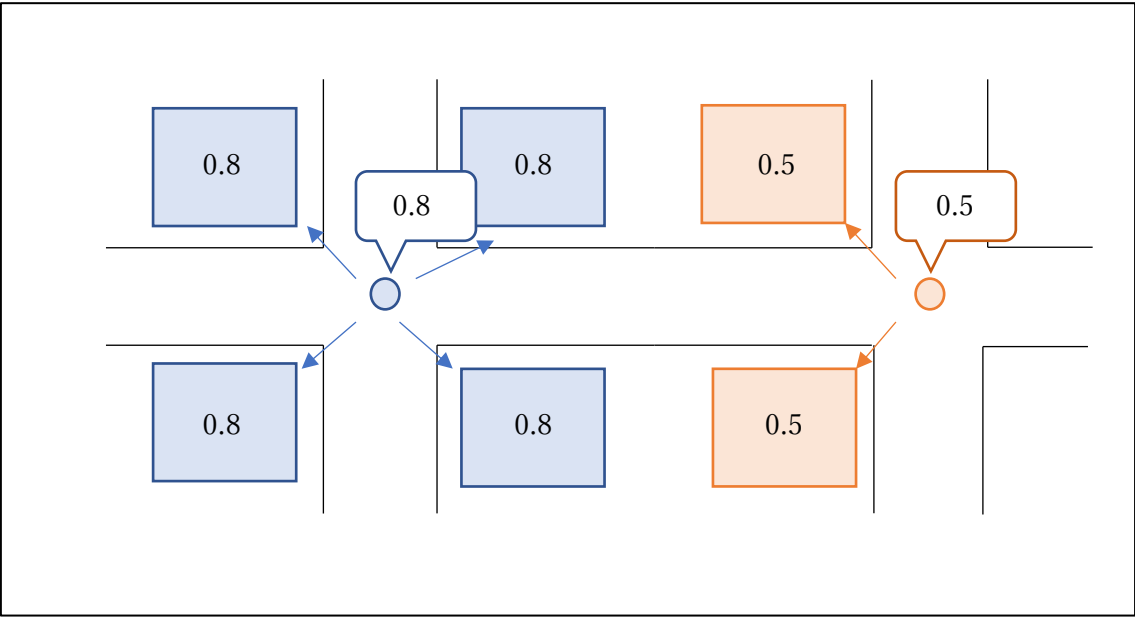


図 5-11 評価値結合の概念

5-4-1 代々木体育館立ち寄りやすさ評価値

代々木体育館を対象に評価値を算出した。代々木体育館の利用想定駅は渋谷駅・原宿駅・明治神宮駅の3駅である。代々木体育館から各駅へ向かう移動を想定し、計算を行った。まずは、出発点を代々木体育館、終着点を上述の3駅に設定し、それぞれについて各交差点の評価値を算出した。その後、これらを合計することで、全体の評価値を算出した。加えて、建物と最近隣ノードを空間結合し、評価値の属性データを付与した。

まず、各駅への移動を想定した評価値を算出した図（図5-12-14）に関して考察を進める。渋谷駅への移動を想定した評価値（図5-12）に着目すると、代々木体育館から渋谷駅に向かって、沿線に沿った街路が高い評価値を示していることがわかる。これは、沿線沿いの街路は歩道幅員が確保されていることと、傾斜が下り坂で会ったことが要因であると考えられる。また、沿線沿いの街路に接続している街路の内、国道や都道など、の比較的整備されているエリアに関しても同様に高い評価値を示している。次に、原宿駅への移動を想定した評価値（図5-13）に着目すると、代々木体育館と原宿駅を中心に評価値が高い傾向を示していることがわかる。これは、代々木体育館と原宿駅の距離が非常に近いため、最短経路と最小負荷の経路がほぼ同じ経路を示したためだと考えられる。明治神宮駅に関しても、同様に、代々木体育館と明治神宮駅を中心に高い評価値を示している。また、比較的広い幅員が確保されている街路周辺の地域が高い評価値を示している（図5-14）。

次に、全体の評価値を算出した図（図5-15）を確認すると、図上のA・B・Cエリアの評価値が低いことがわかる。Aエリアに関しては渋谷駅・明治神宮駅に近いにもかかわらず、評価値が0.4～0.7と低い。Bエリアに関しても、同様に、原宿駅・明治神宮駅に近いにもかかわらず、0.2～0.5と評価値が低い。距離が近いにもかかわらず、立ち寄りにくいエリアとなっていることから、これらのエリアへのアクセス経路がストレスが高い経路であることが推測される。また、Cエリアも0.3～0.5と評価値が低いことがわかった。A・Bエリアと比べると、駅から遠いため、評価値が低い傾向となるが、Cエリア周辺の国道沿いの街路に面している建物は評価値が高いことから、Cエリアへのアクセス経路の街路環境が芳しくないことが推測される。逆に、代々木体育館から渋谷駅に向かう沿線沿いの街路に面した建物は評価値が高く、比較的立ち寄りやすい傾向にあることが示された。

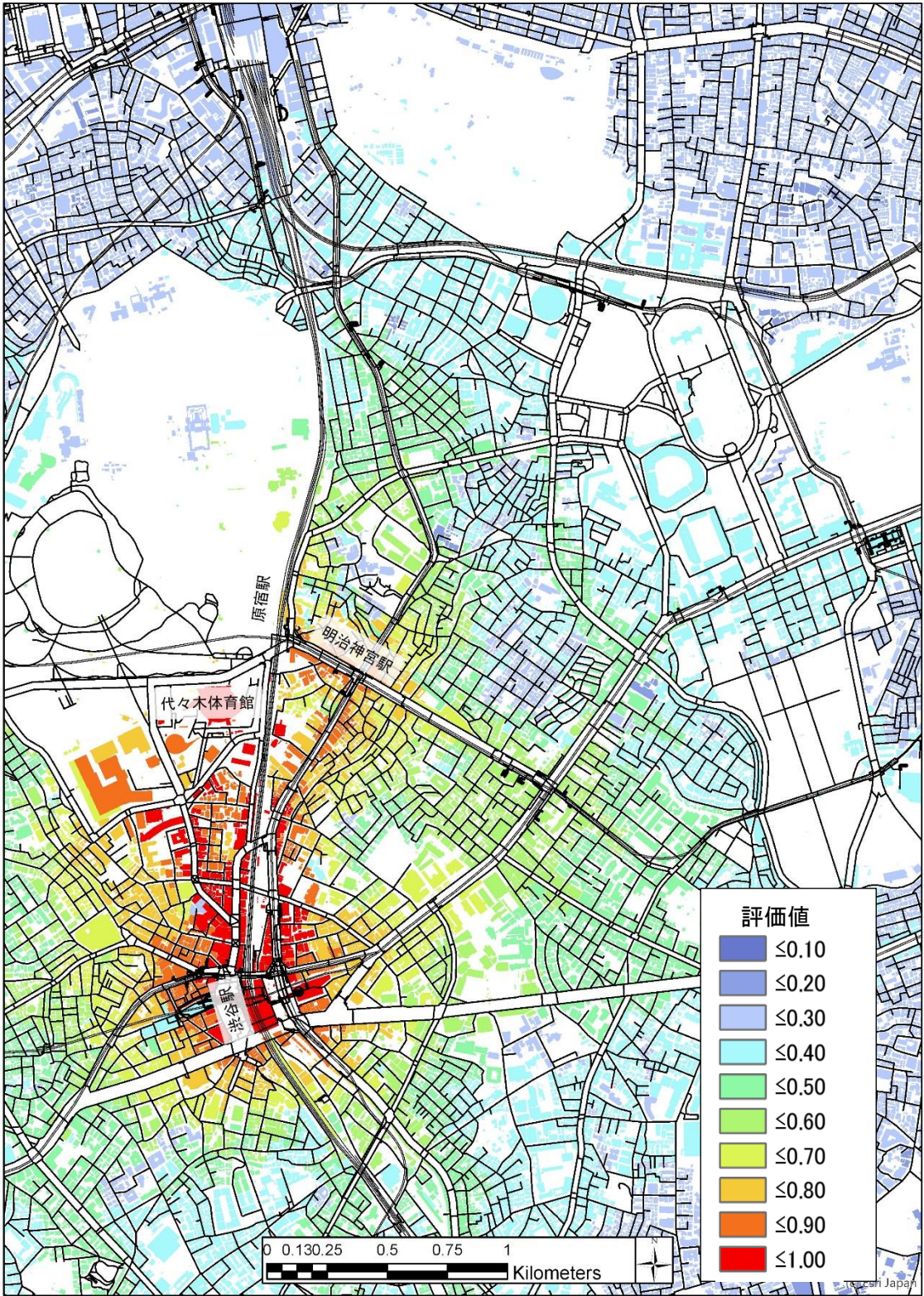


図 5-12 代代木体育館から渋谷駅へ向かう評価値

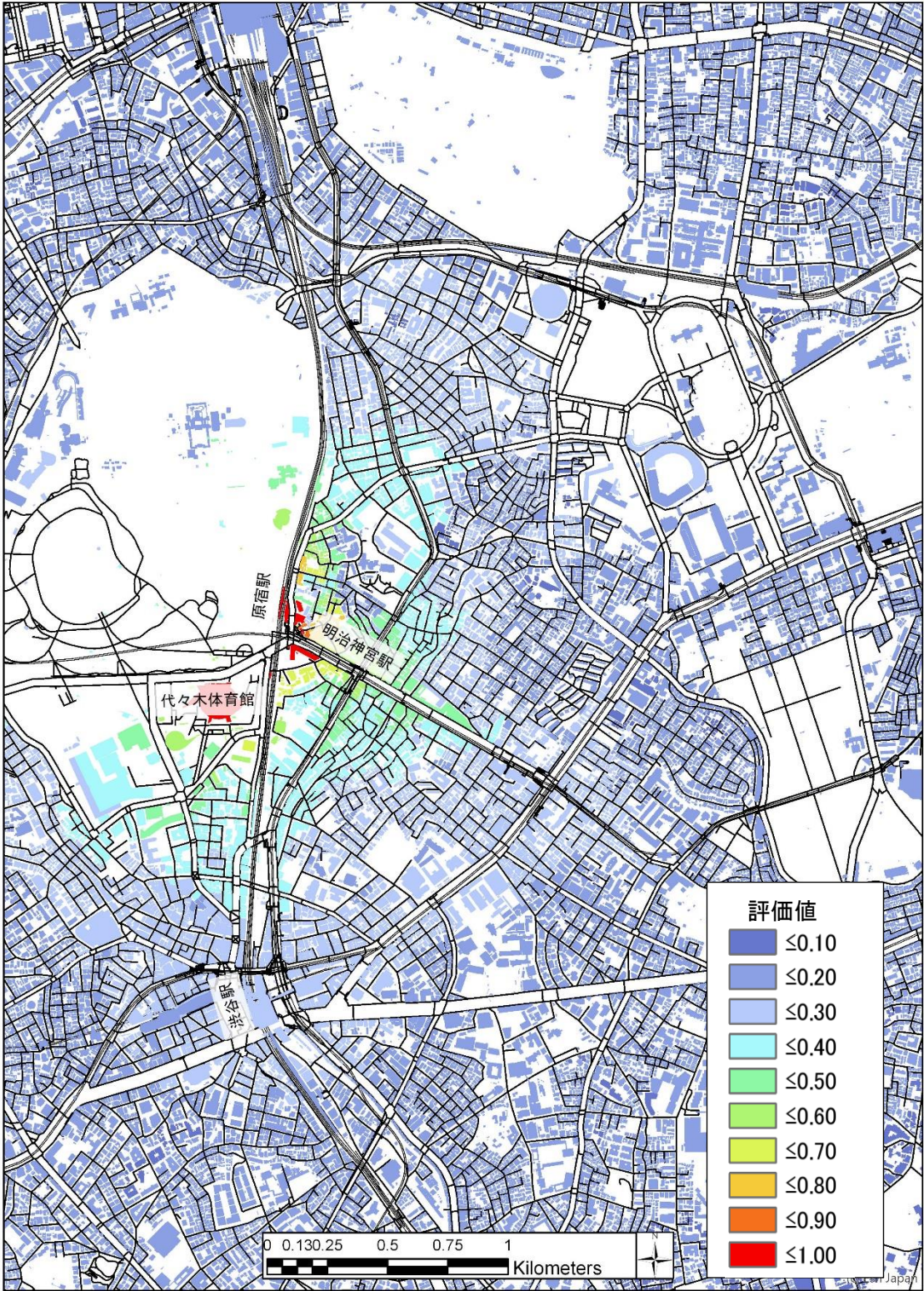


図 5-13 代々木体育館から原宿駅へ向かう評価値

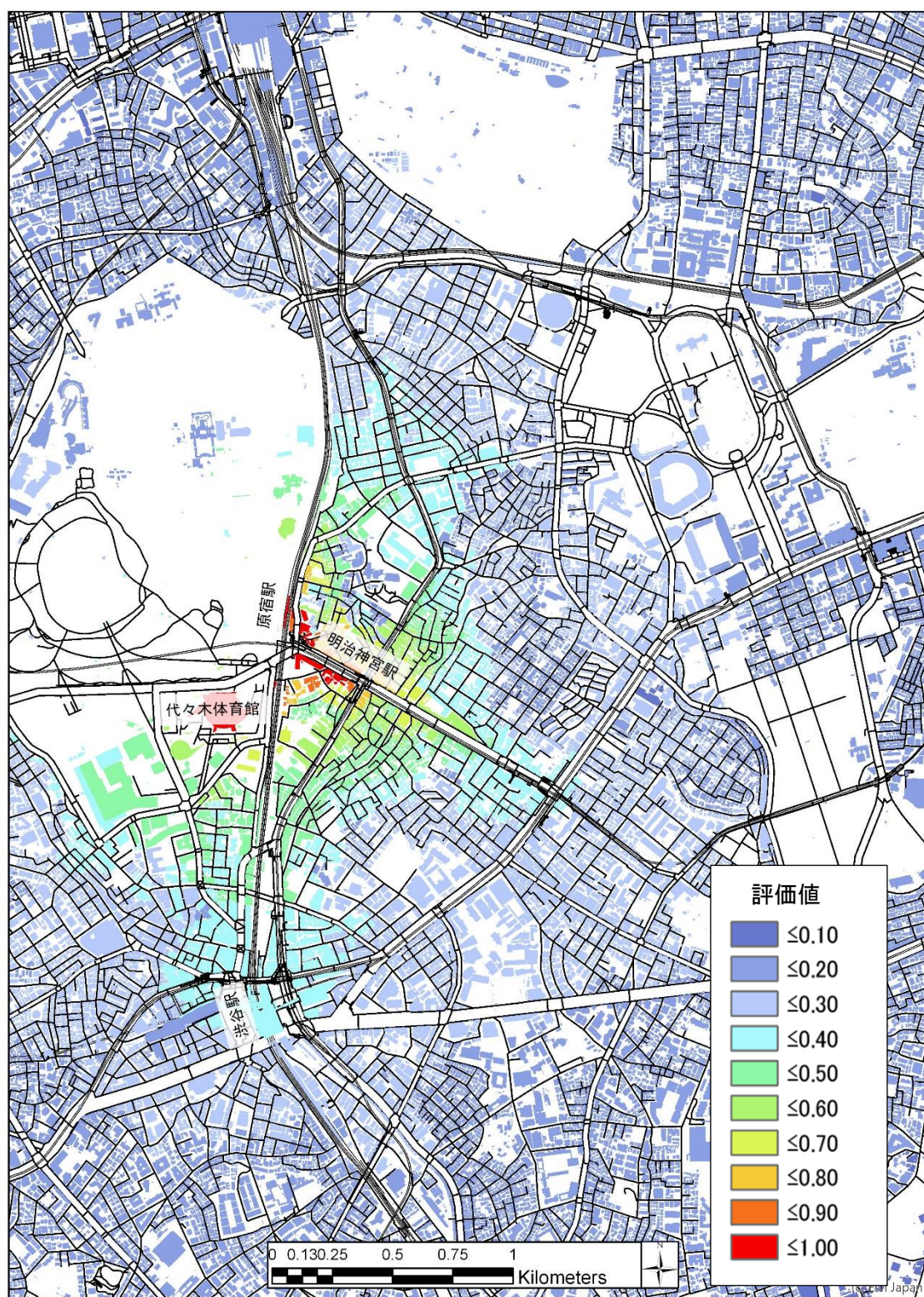


図 5-14 代々木体育館から明治神宮駅へ向かう評価値

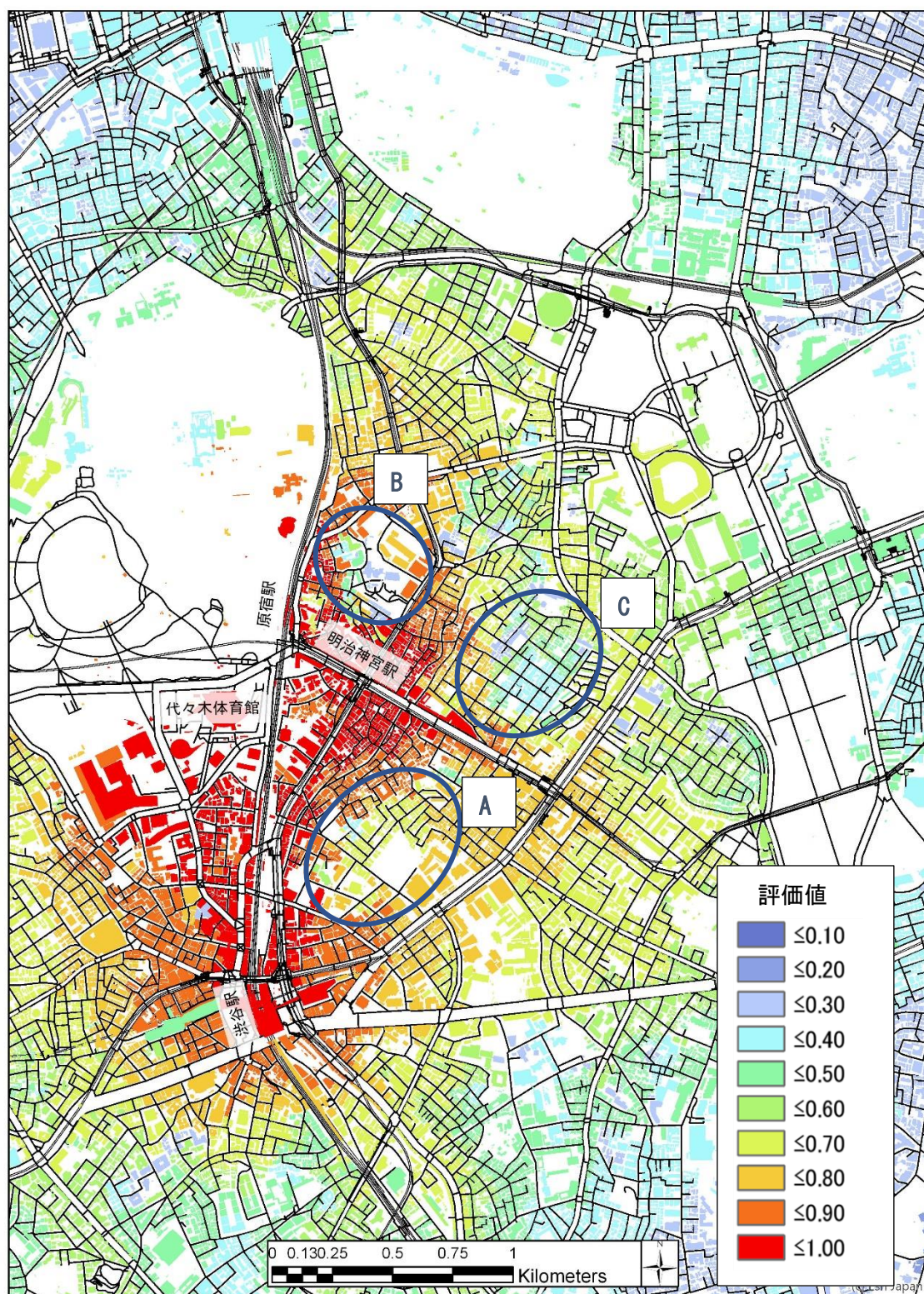


図 5-15 代々木体育館全体の評価値

5-4-2 東京体育館立ち寄りやすさ評価値

東京体育館を対象に評価値を算出した。東京体育館の利用想定駅は千駄ヶ谷駅・国立競技場駅・信濃町駅・北参道駅・代々木駅・外苑前駅・原宿駅の7駅である。東京体育館から各駅へ向かう移動を想定し、計算を行った。

まず、各駅への移動を想定した評価値を算出した図（図 5-16-23）に関して考察を進める。

千駄ヶ谷駅・国立競技場駅・信濃町駅への移動を想定した評価値（図 5-16-18）に着目すると、東京体育館と各駅を中心に評価値が高い傾向を示していることがわかる。これは、5-4-1 節の原宿駅・明治神宮駅と同様に東京体育館と各駅の距離が非常に近いため、最短経路と最小負荷の経路がほぼ同じ経路を示したためだと考えられる。

次に、北参道駅・代々木駅への移動を想定した評価値（図 5-19・20）に着目すると、沿線沿いの街路に面した建物が評価値が高い傾向にあることがわかる。これは、沿線沿いの街路が比較的広幅員の街路であったため、ストレス量が低くなったことが要因であると考えられる。

次に、外苑前駅・原宿駅への移動を想定した評価値（図 5-21・22）に着目すると、それぞれ、2本の街路沿いに面した建物が評価値が高い傾向にあることがわかる。図に示した、Aタイプの街路は若干遠回りだが、評価値が高い傾向にある。これは、ストレスの少ない街路だったため、Aタイプの街路に面した建物の評価値が高くなったと考えられる。逆に、Bタイプの街路は比較的距離が短い経路であったため、評価値が高くなったと考えられる。

全体の評価値を算出した図（図 5-23）を確認すると、図上のA・Bエリアの評価値が低いことがわかる。両エリアは代々木体育館の評価値でも低い値を示しており、立ち寄りにくいエリアとなっていることから、これらのエリアへのアクセス経路がストレスが高い経路であることが推測される。

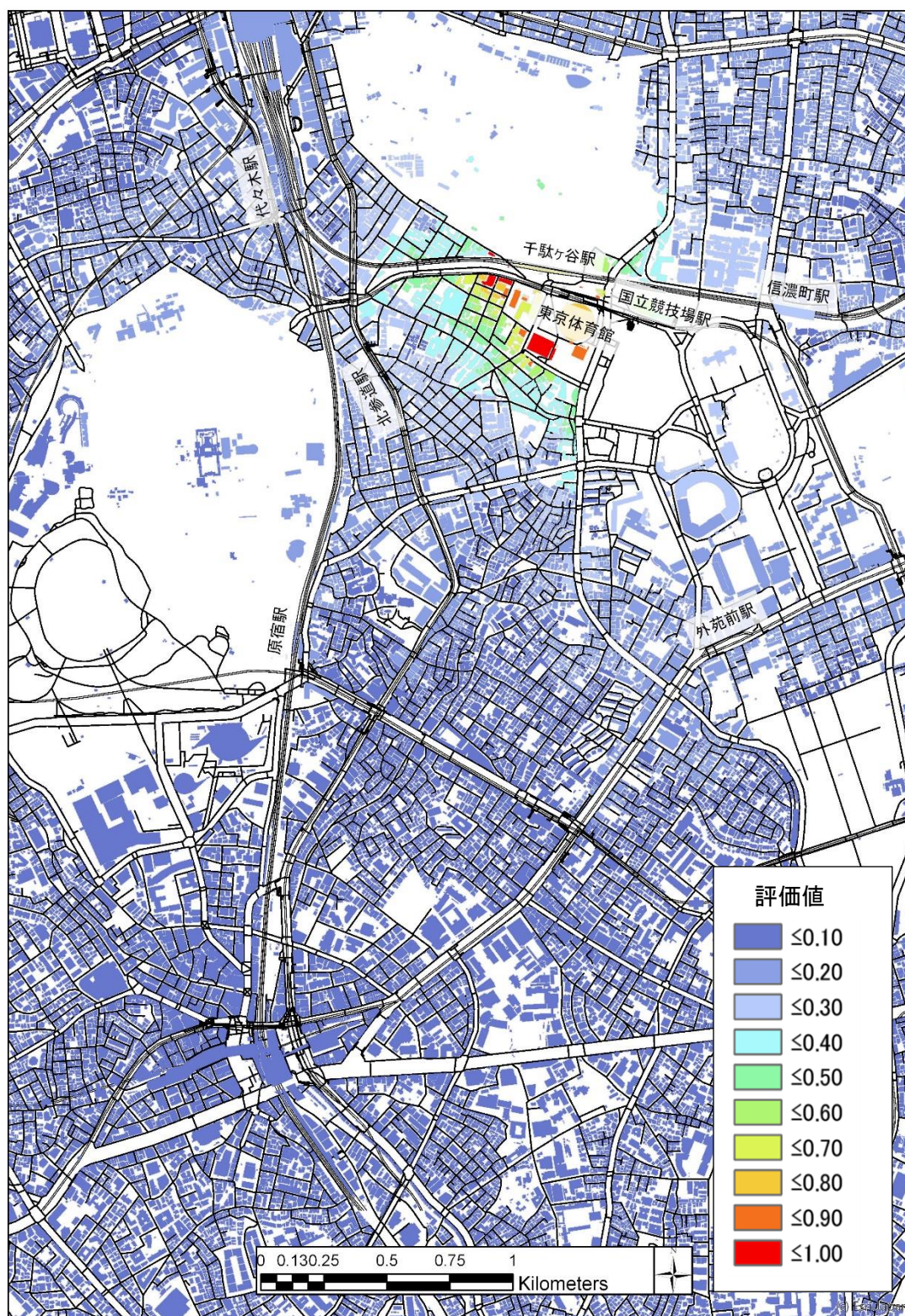


図 5-16 東京体育館から千駄ヶ谷駅へ向かう評価値

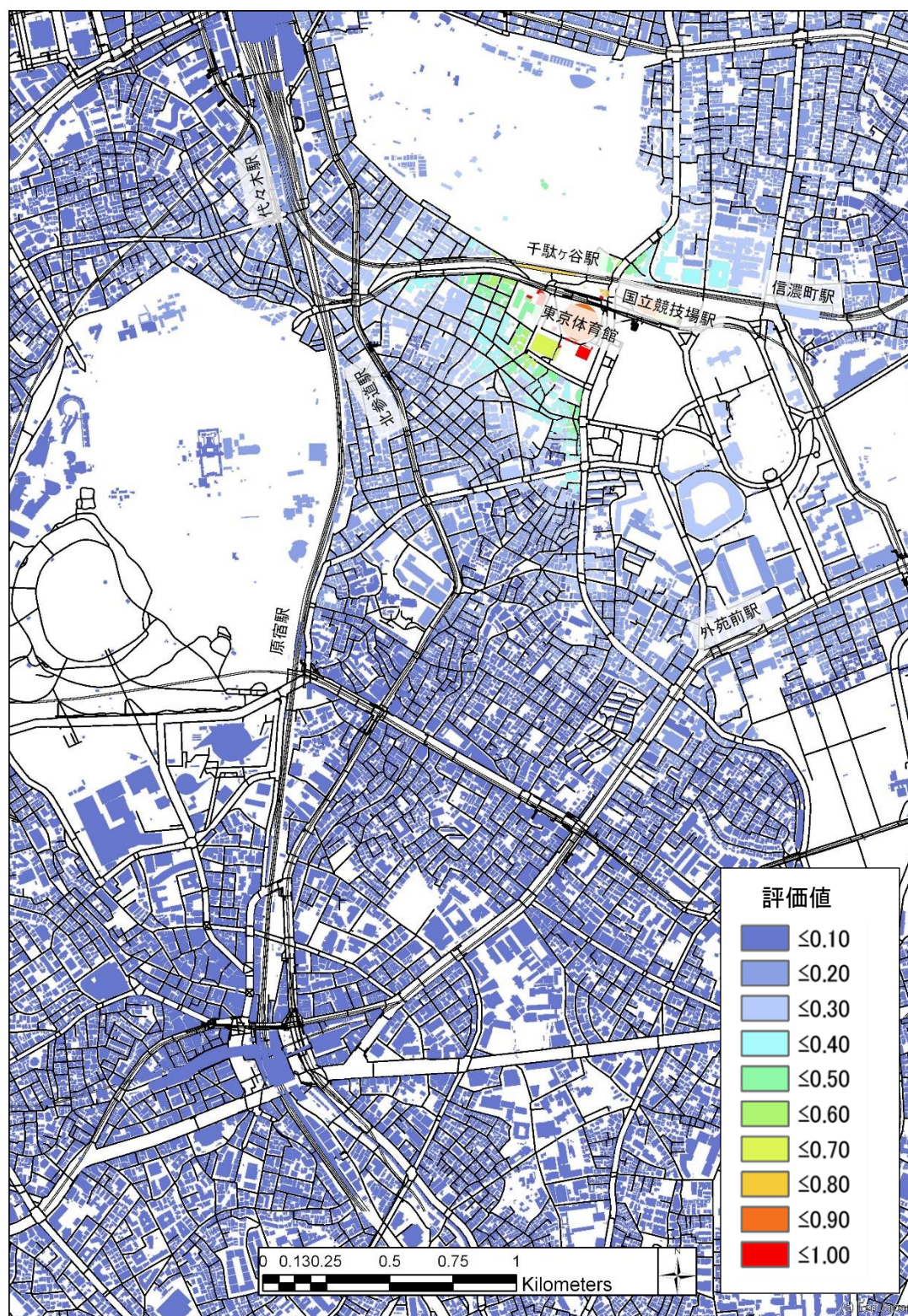


図 5-17 東京体育館から国立競技場駅へ向かう評価値

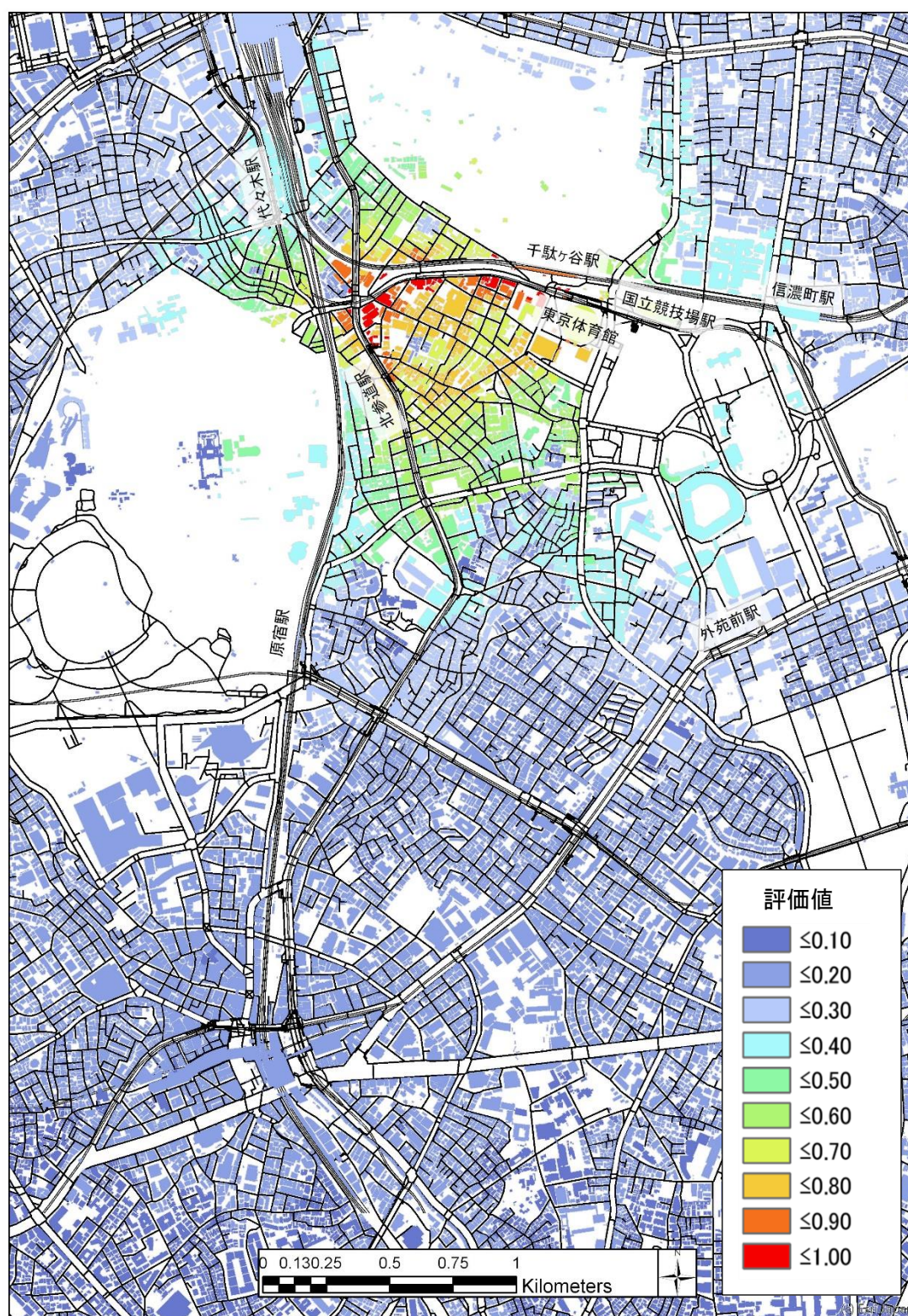


図 5-19 東京体育館から北参道駅へ向かう評価値

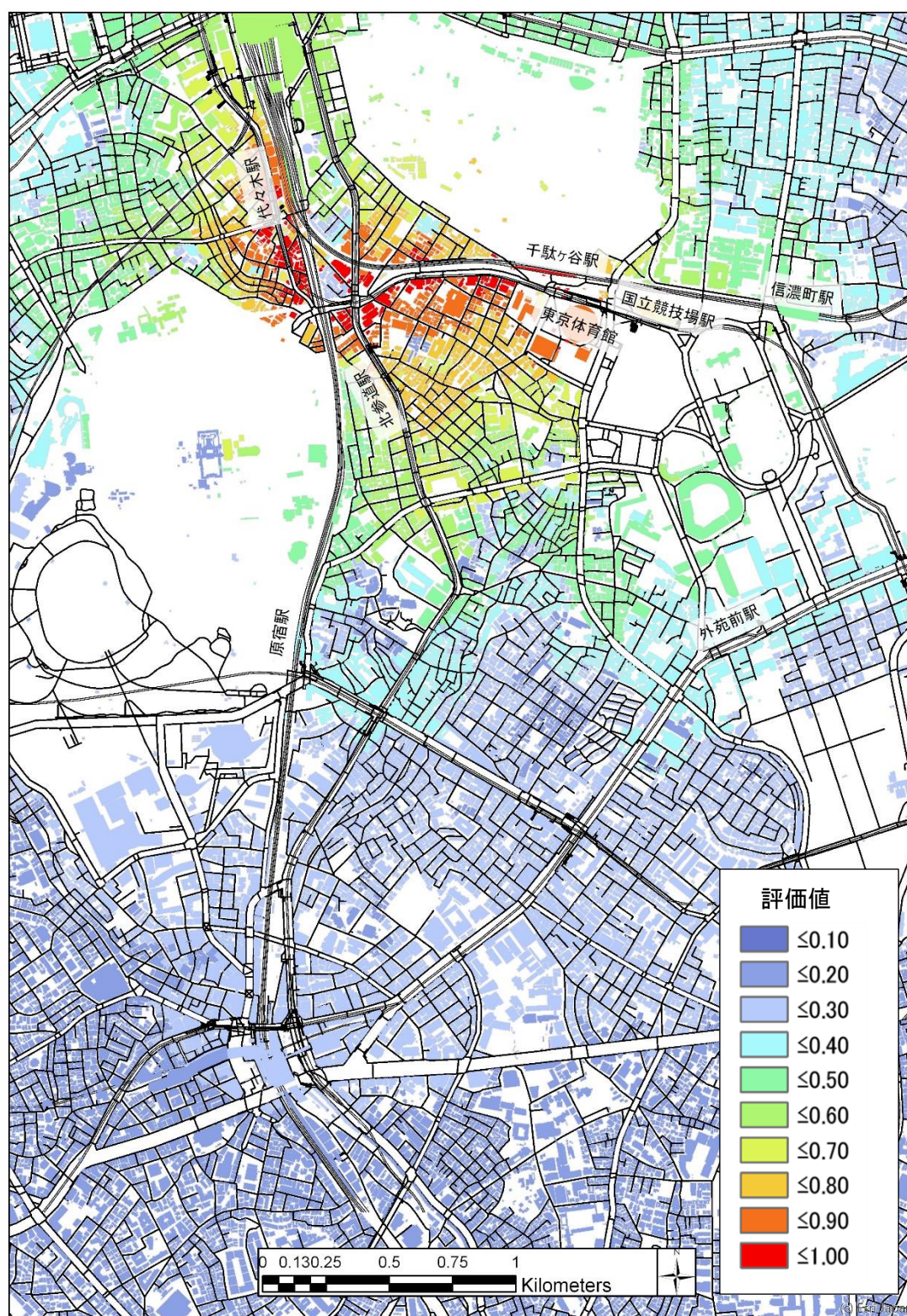


図 5-20 東京体育館から代々木駅へ向かう評価値

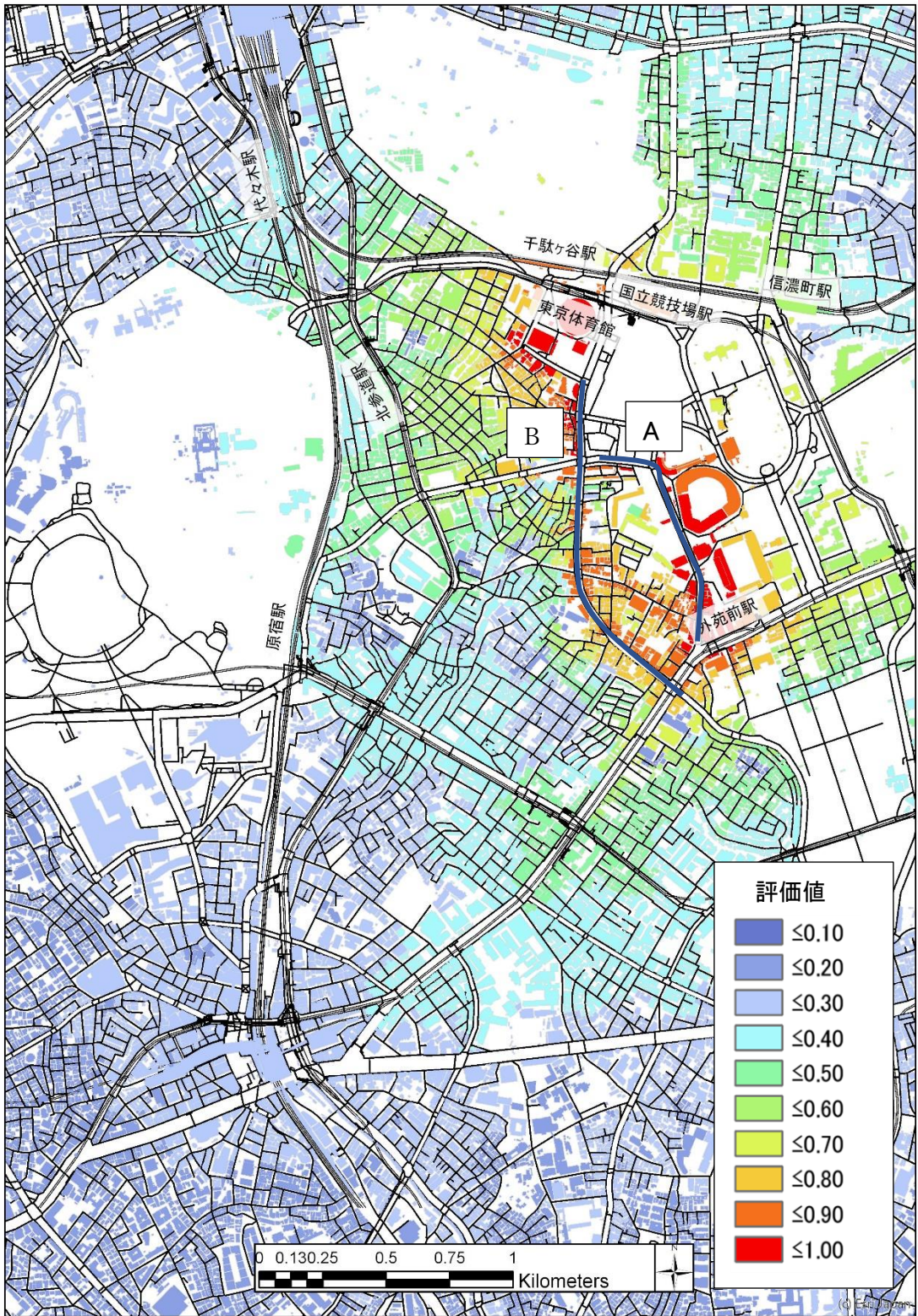


図 5-21 東京体育館から外苑前駅へ向かう評価値

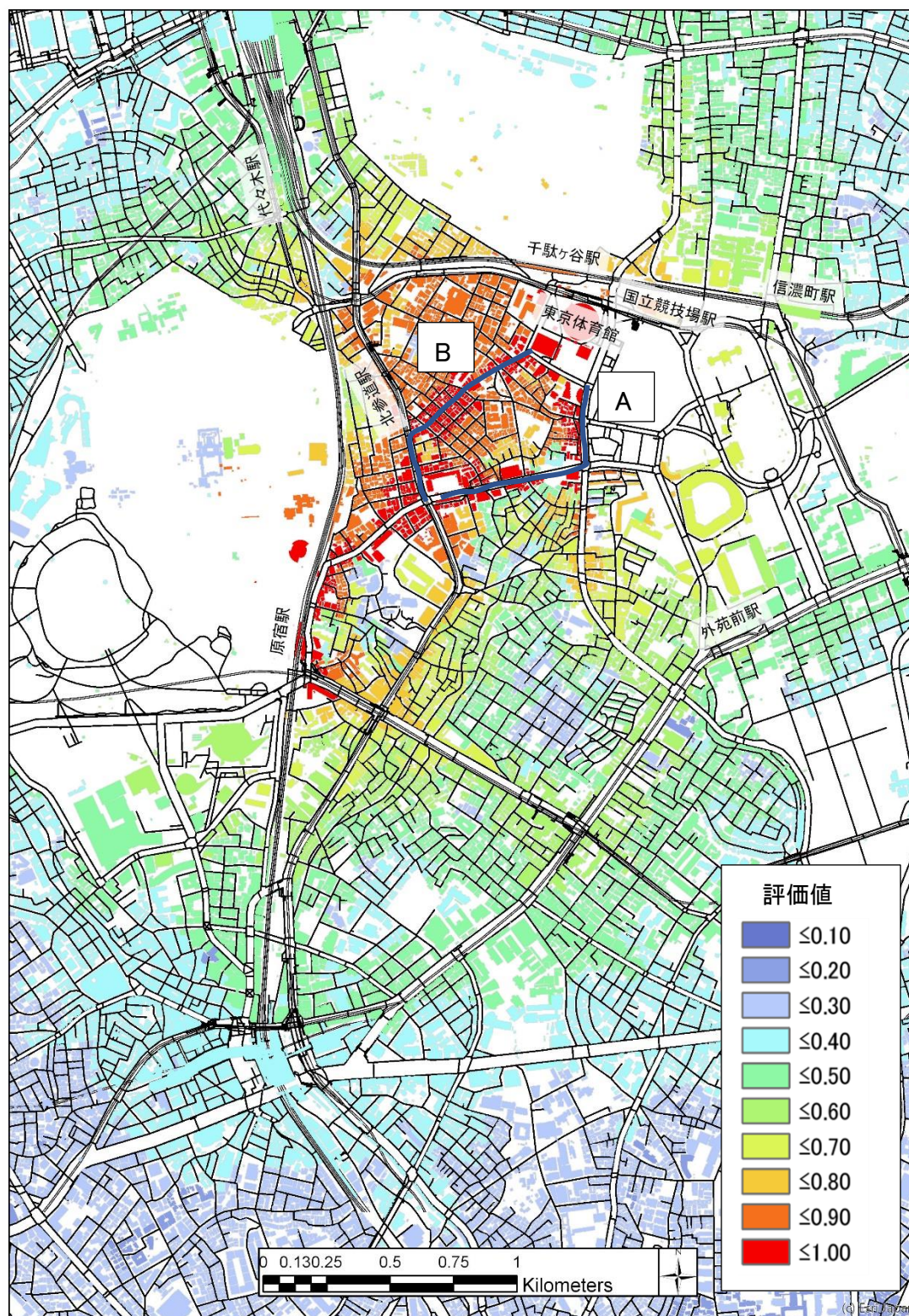


図 5-22 東京体育館から原宿駅へ向かう評価値

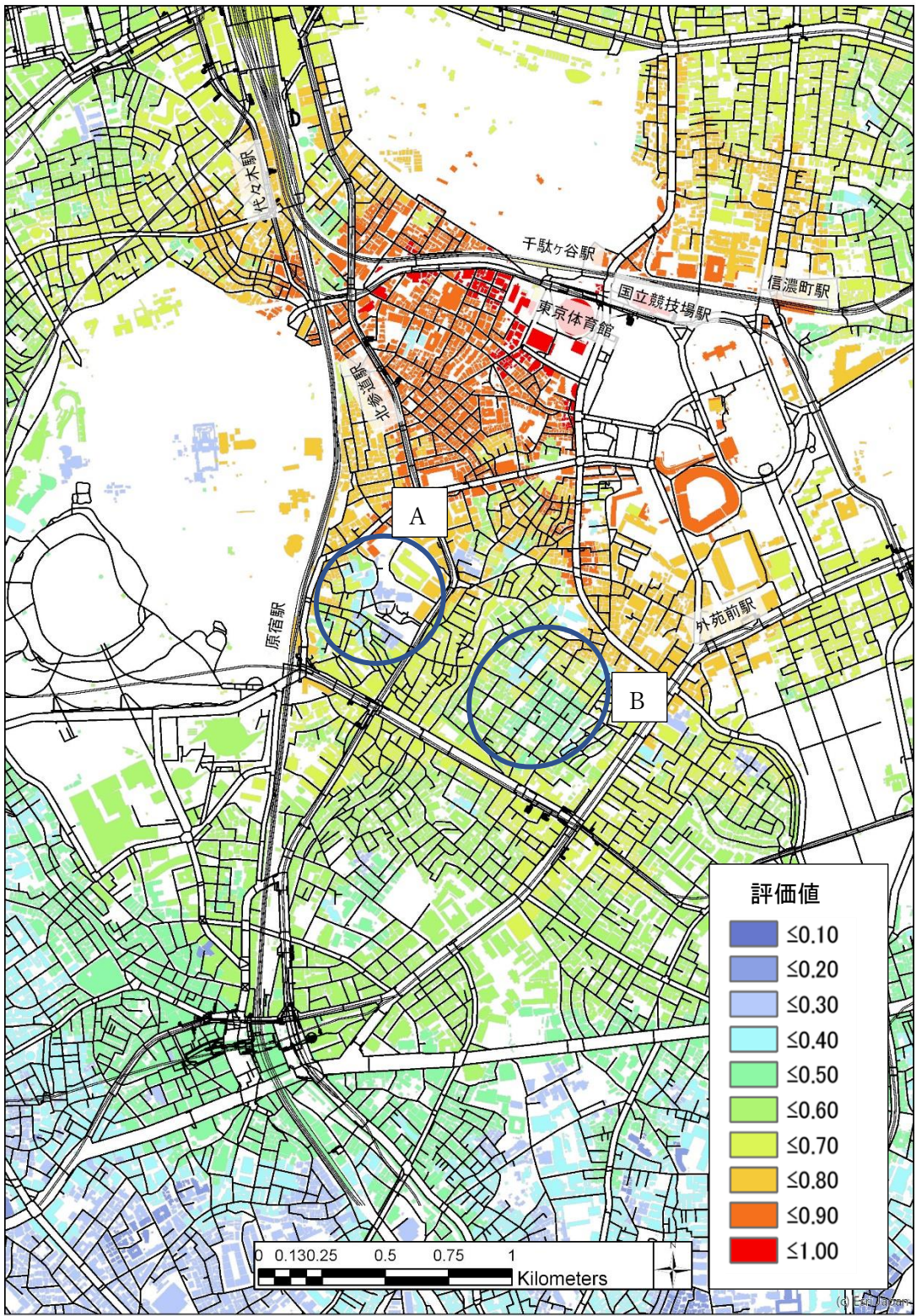


図 5-23 東京体育館全体の評価値

5-4-3 新国立競技場回立ち寄りやすさ評価値

新国立競技場を対象に評価値を算出した。新国立競技場の利用想定駅は千駄ヶ谷駅・国立競技場駅・信濃町駅・北参道駅・外苑前駅・青山一丁目駅・原宿駅の7駅である。新国立競技場から各駅へ向かう移動を想定し、計算を行った。

まず、各駅への移動を想定した評価値を算出した図（図 5-24-30）に関して考察を進める。

千駄ヶ谷駅・国立競技場駅・信濃町駅への移動を想定した評価値（図 5-24-26）に着目すると、新国立競技場と各駅を中心に評価値が高い傾向を示していることがわかる。これは、5-4-1 節原宿駅・明治神宮駅・5-4-2 節の千駄ヶ谷駅・国立競技場駅・信濃町駅と同様に東京体育館と各駅の距離が非常に近いため、最短経路と最小負荷の経路がほぼ同じ経路を示したためだと考えられる。

次に、北参道駅・外苑前駅・青山一丁目駅・原宿駅への移動を想定した評価値（図 5-27-30）に着目すると、沿線沿いの街路に面した建物が評価値が高い傾向にあることがわかる。これは、沿線沿いの街路が比較的広幅員の街路であったため、ストレス量が低くなったことが要因であると考えられる。

5-4-2 節では外苑前駅・原宿駅への移動を想定した評価値はそれぞれ、2本の街路沿いに面した建物が評価値が高い傾向にあったが、新国立競技場の場合は、同じような傾向は確認できなかった。これは、新国立競技場から各駅への最短経路と最小移動負荷の経路が一致していたためだと考えられる。

全体の評価値を算出した図（図 5-31）を確認すると、図上の A・B エリアの評価値が低いことがわかる。両エリアは代々木体育館・東京体育館の評価値でも低い値を示しており、立ち寄りにくいエリアとなっていることから、これらのエリアへのアクセス経路がストレスが高い経路であることが要因となっている。

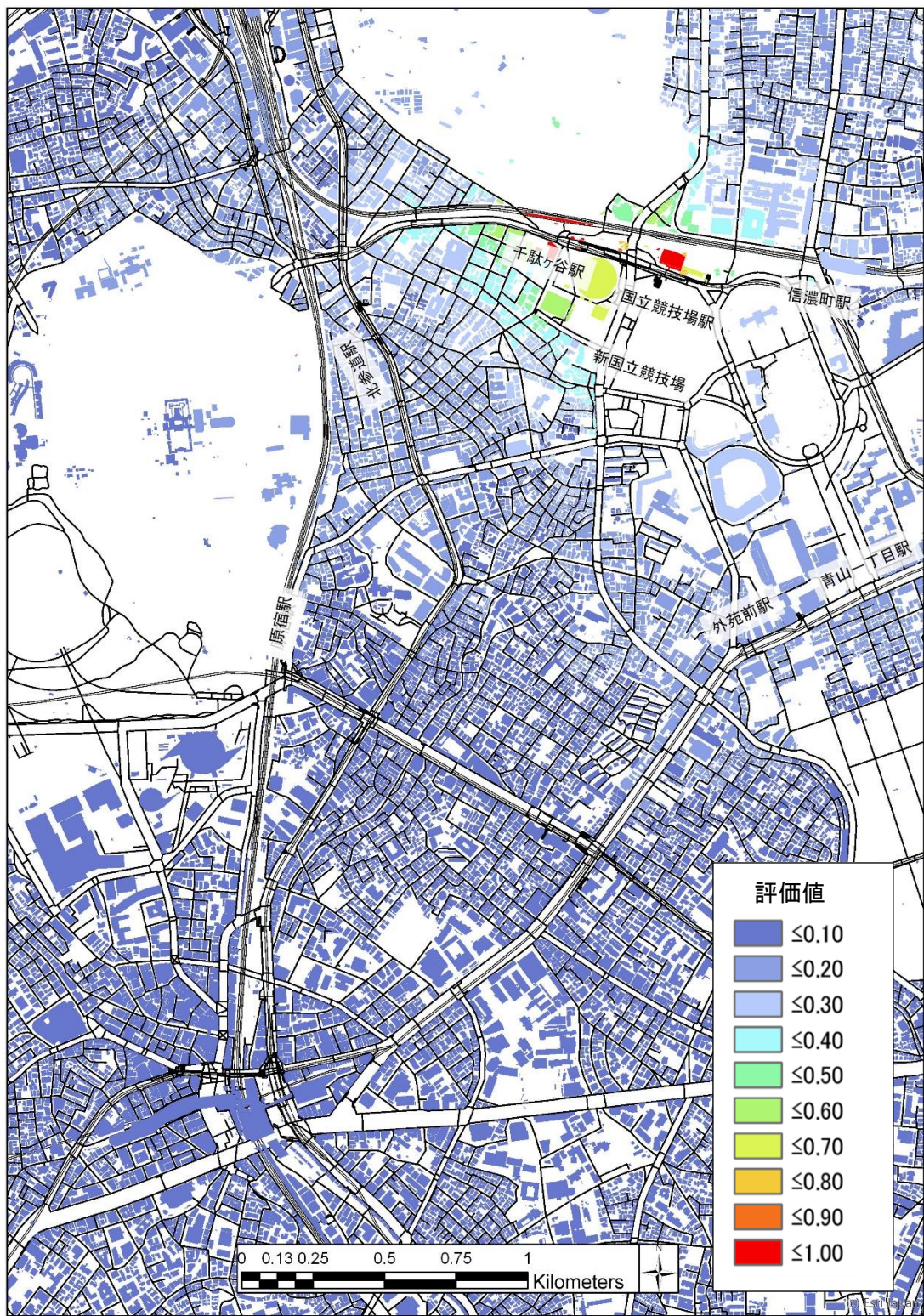


図 5-24 新国立競技場から千駄ヶ谷駅へ向かう評価値

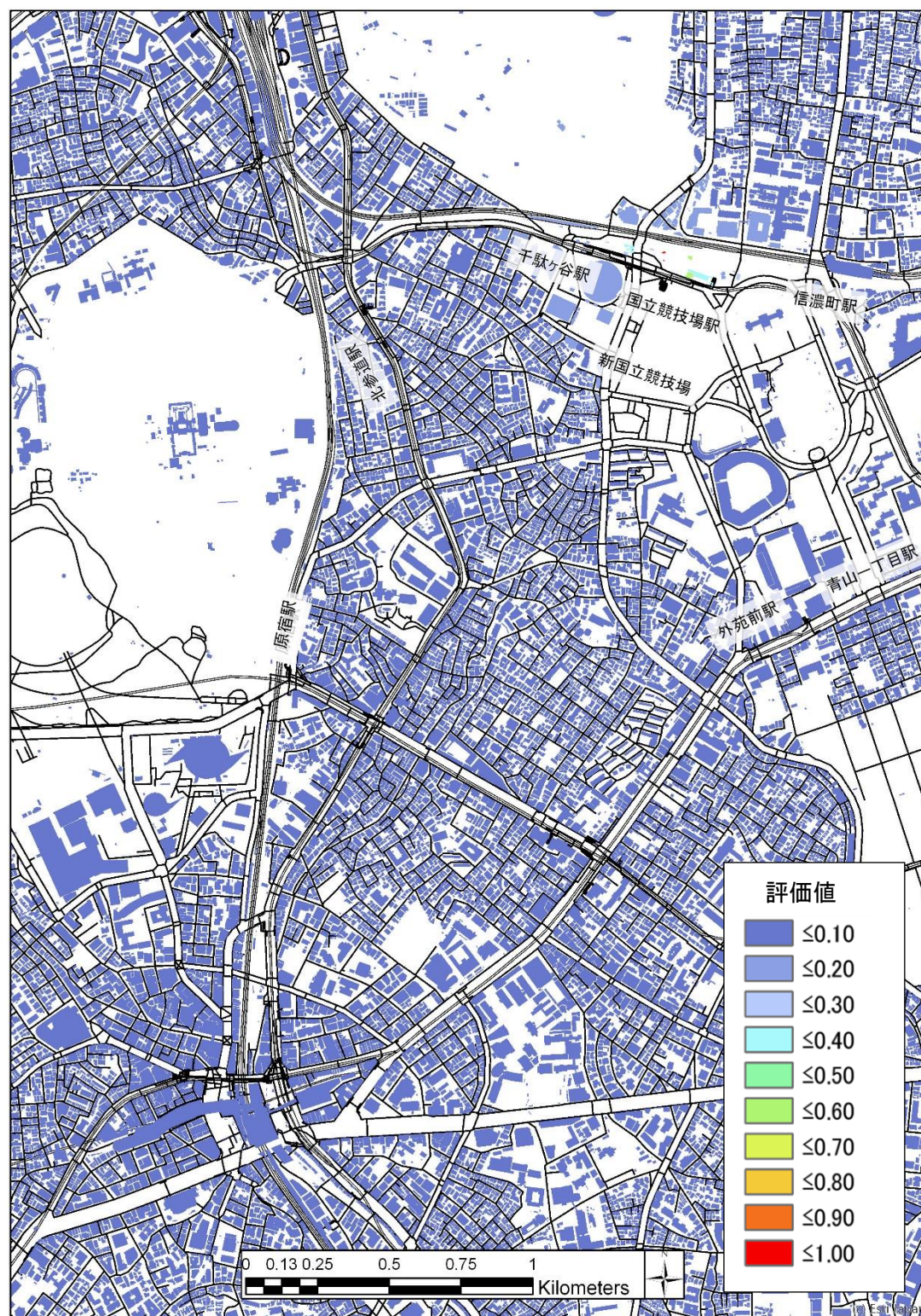


図 5-25 新国立競技場から国立競技場駅へ向かう評価値

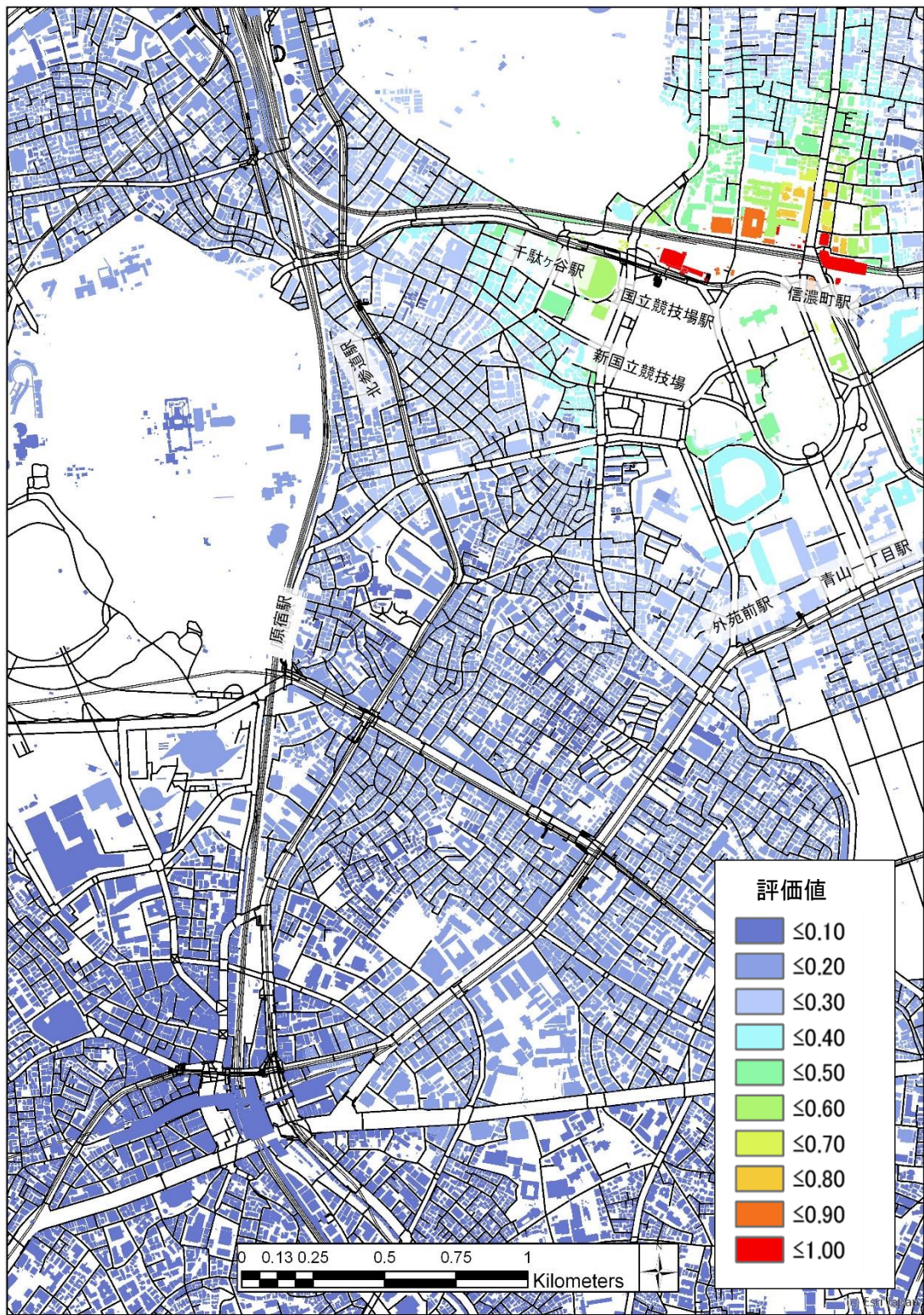


図 5-26 新国立競技場から信濃町駅へ向かう評価値

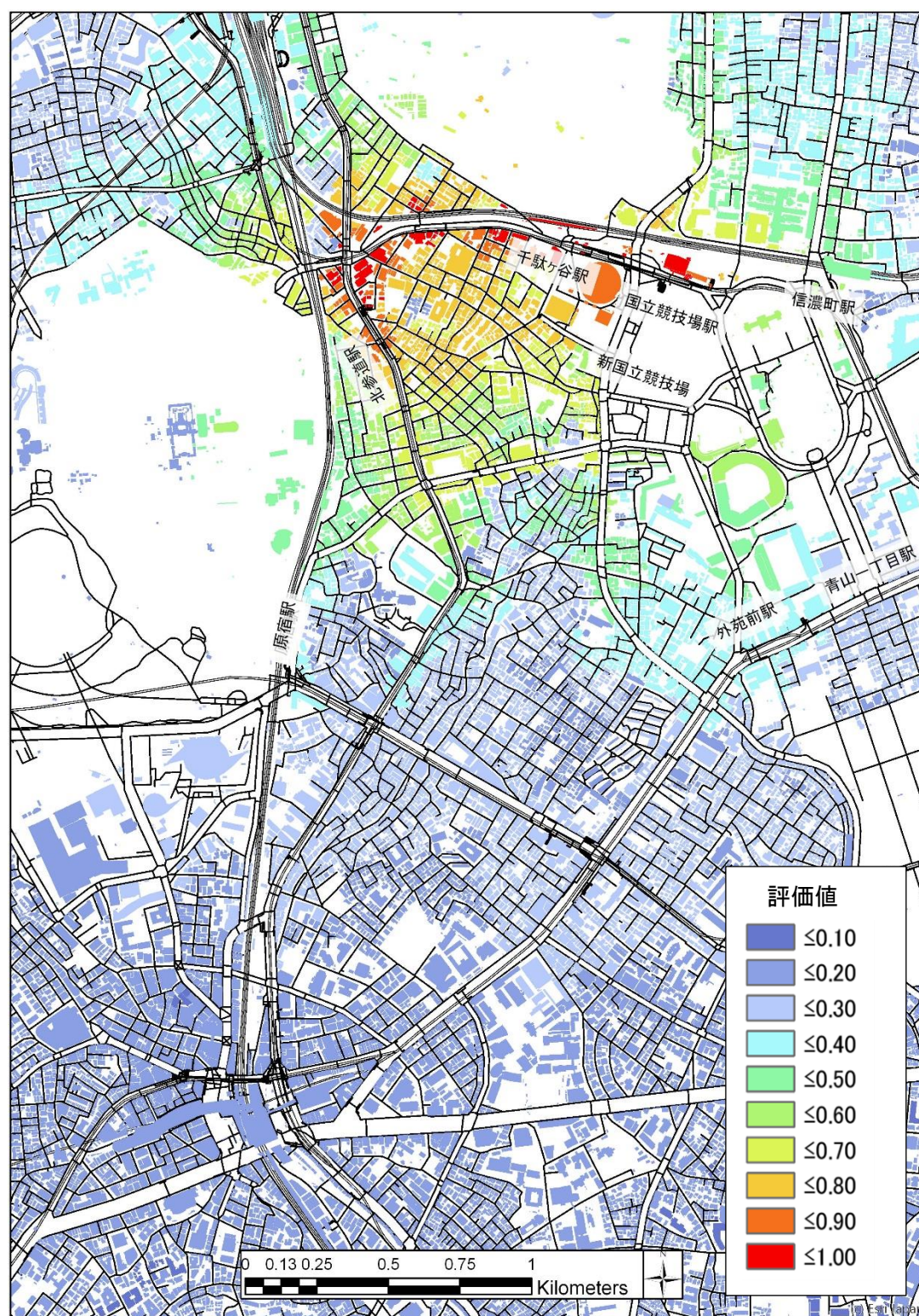


図 5-27 新国立競技場から北参道駅へ向かう評価値

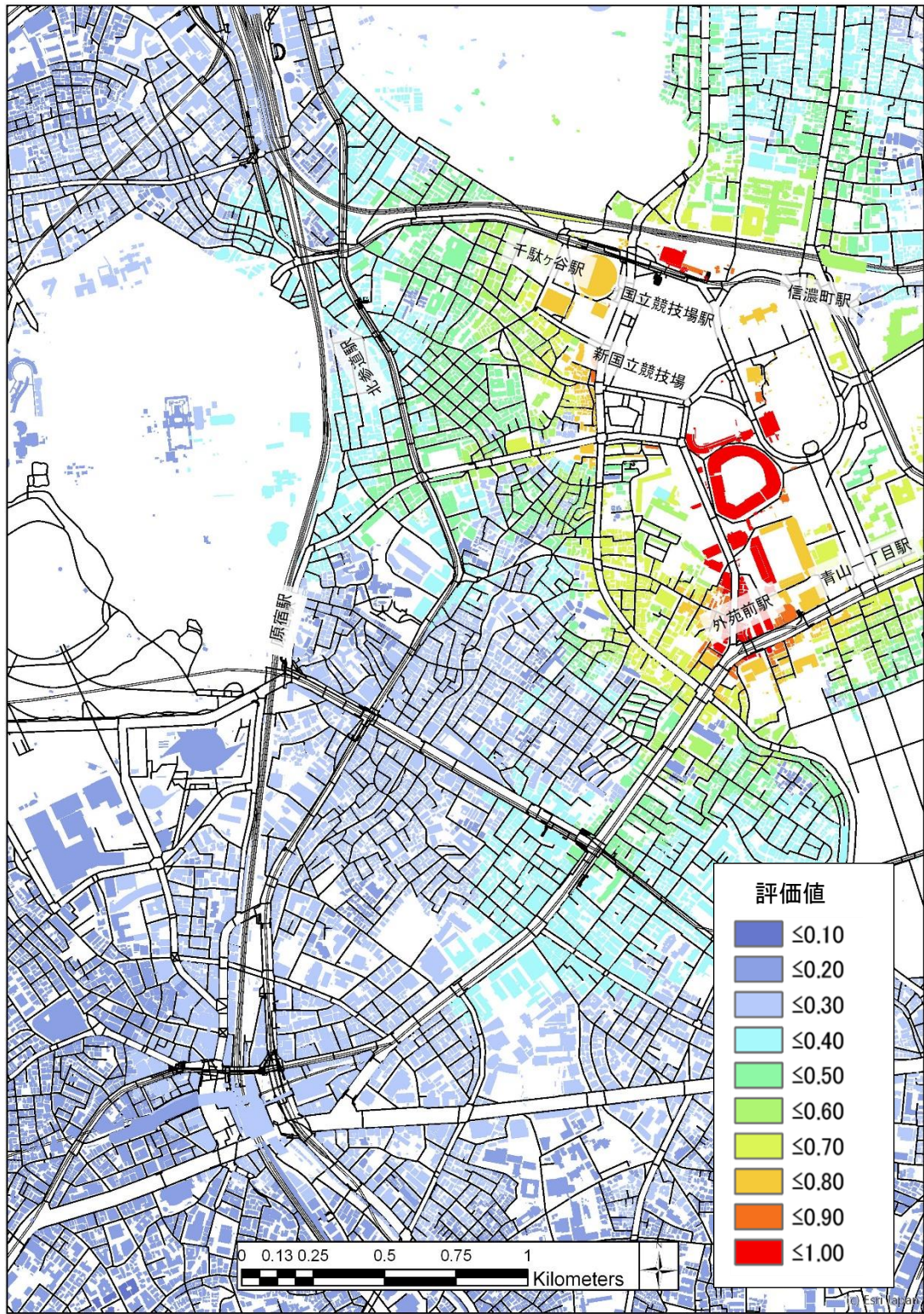


図 5-28 新国立競技場から外苑前駅へ向かう評価値

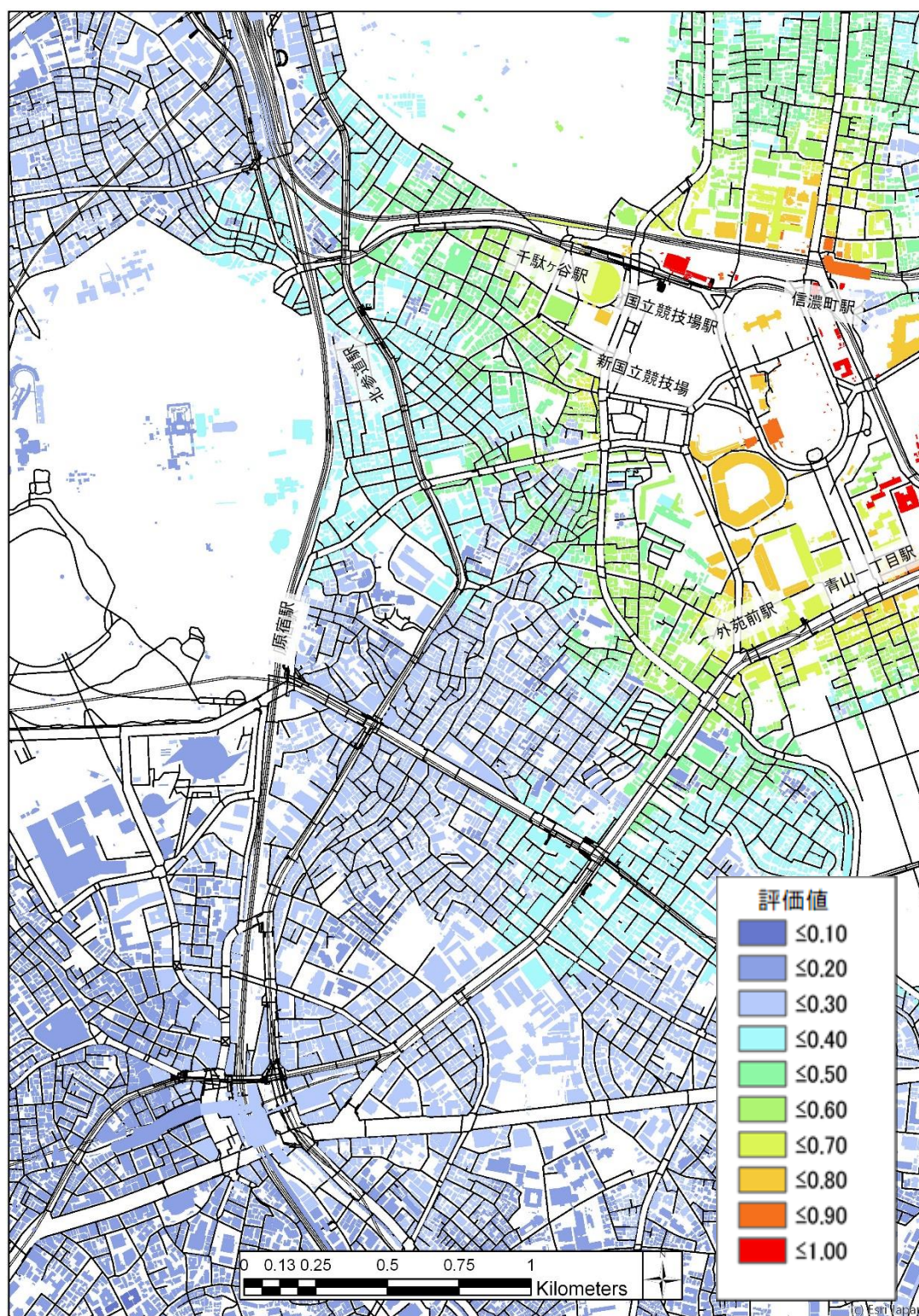


図 5-29 新国立競技場から青山一丁目駅へ向かう評価値

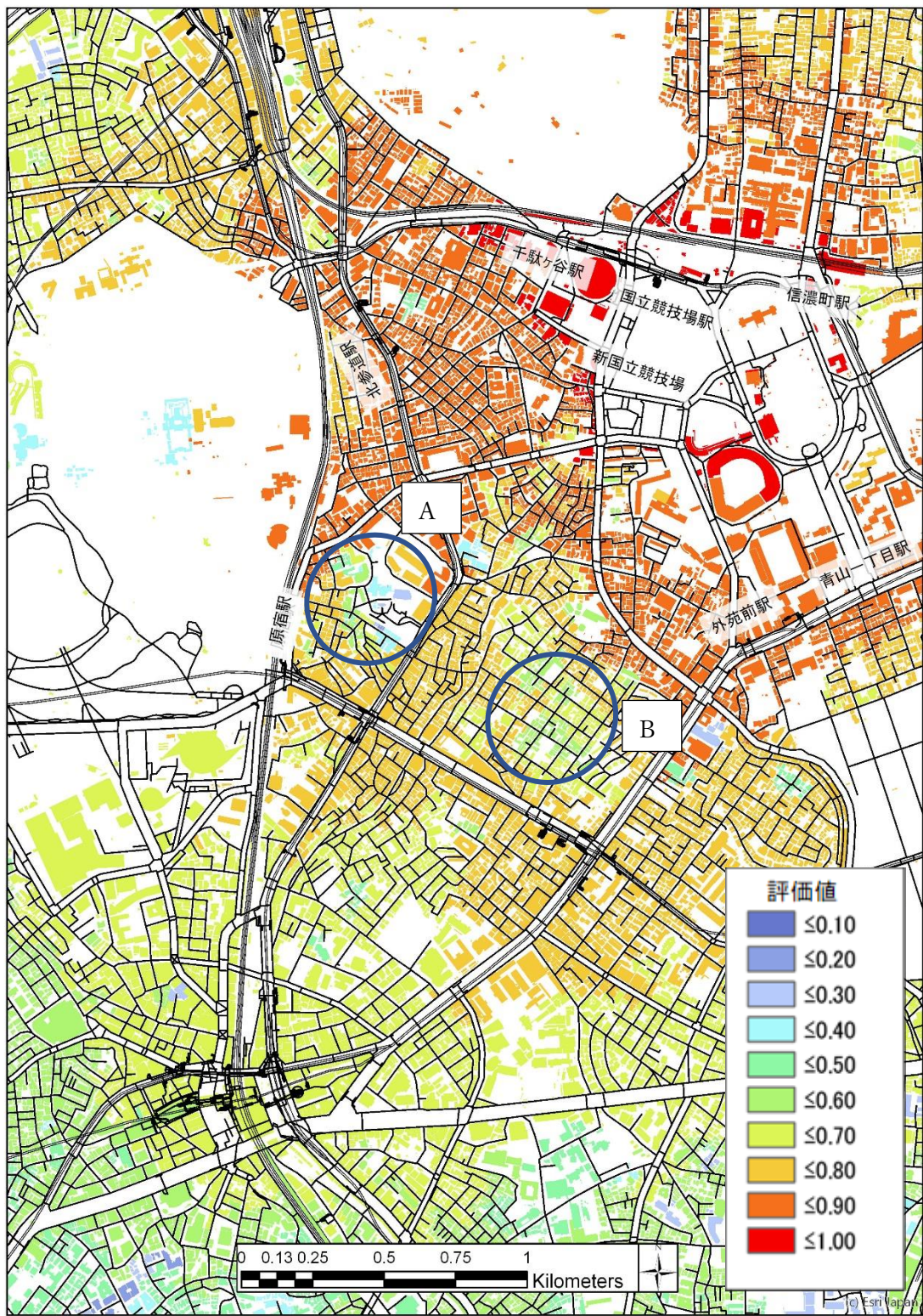


図 5-31 新国立競技場全体の評価値

5-4-4 全体の立ち寄りやすさ評価値

代々木体育館・東京体育館・新国立競技場で算出した評価値を合計し、全体の評価値として計算した(図 5-32)。また、評価値が 0~1 の値を取るように、最大値で除して基準化した。この評価値は 3 つの競技会場から周辺駅へ向かうことを想定した際の立ち寄りやすさを建物ごとに推計した値である。

評価値を確認すると、評価値が低いエリアが 3 エリア(図中の A・B・C)、評価値が高いエリアが 1 エリア(図中 D) 抽出された。A・B エリアは全ての競技会場の評価値の結果において、低い値を示しており、どの競技会場の利用者にとっても立ち寄りにくい地域であるといえる。また、C エリアに関しては、代々木体育館の評価値において低い値を示しており、かつ、東京体育館・新国立競技場から遠いエリアであったため、全体の回遊中心性が低くなったと考えられる。A エリアは原宿の竹下通りの裏通りで、C エリアはキャットストリートと呼ばれる通りに面しており、両エリアとも商業施設が集積していることから、早急に街路環境の改善が求められる。特に、C エリアは 4 章において、歩道幅員が 2m 以上確保されていないため、ストレスが高い街路であったことから、歩道の設置や拡幅等の整備が必要である。

逆に D エリアは評価値が高く、立ち寄りやすいエリアとなっていることがわかった。しかし、D エリアは住宅と商業施設が混在する千駄ヶ谷エリアであるため、住環境を保護するためにも、歩行者を商業施設が建ち並ぶ通りに誘導するもしくは、住居エリアにあまり歩行者が立ち入らないような慎重な整備が必要だと考えられる。

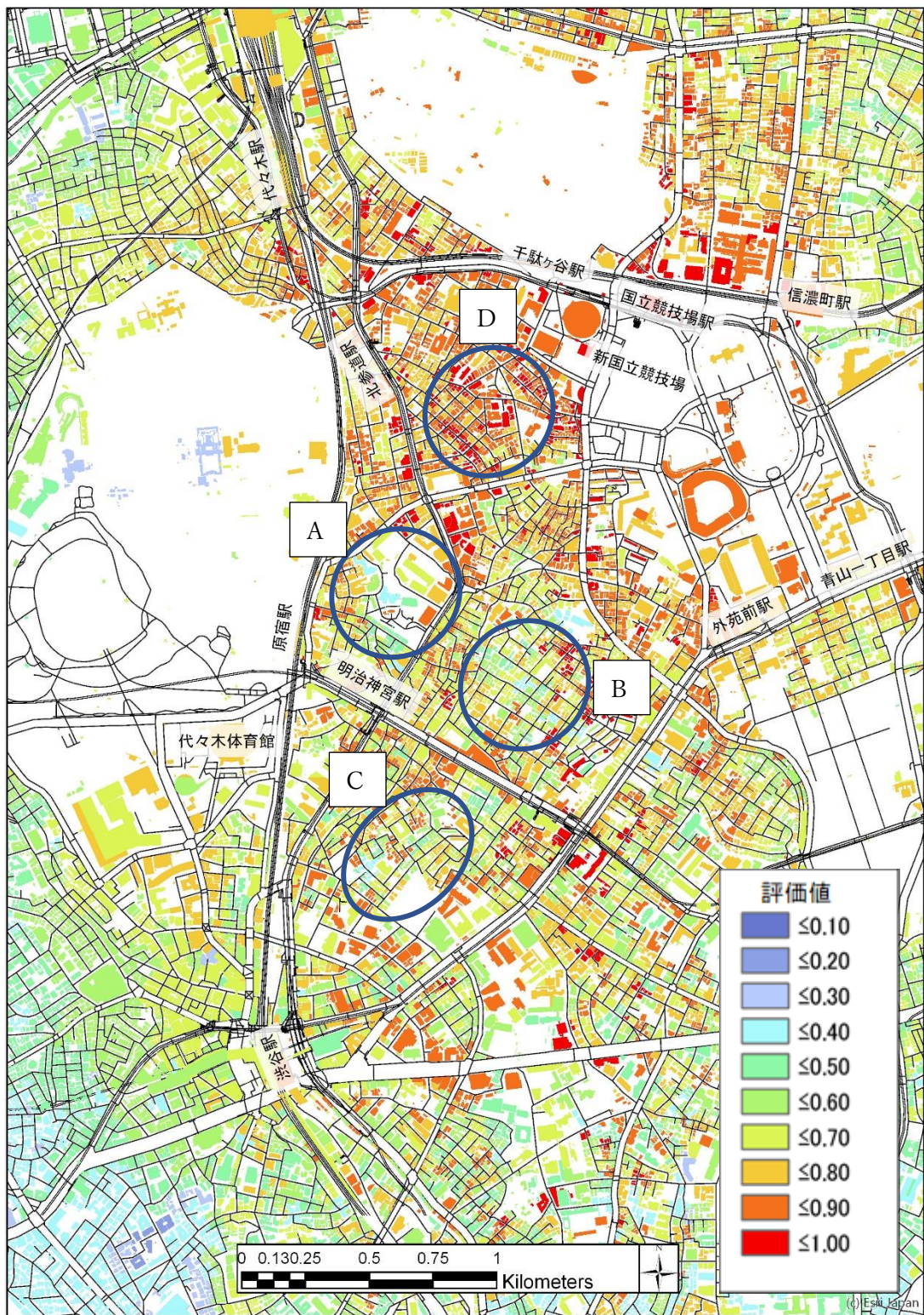


図 5-32 全体の評価値

5-5 まとめ

本章では、対象地域の立ち寄りやすさの定量的評価を行った。

まず、5-1節では街路ネットワーク分析の一種である中心性指標について整理した。その結果、回遊中心性が本研究目的である立ち寄りやすさの定量的評価に適していることが分かった。その後、本研究の対象地域の特性に則した分析が行えるように、分析の設定や条件を定めた。

5-2節では、移動コスト式の構築を行った。移動時間に4章で算出したストレス量を重みづけした値を移動負荷と定義した。そして、移動負荷を通常の移動コスト式に当てはめた回遊中心性の式を提案した。歩行時ストレス量を加味した式を用いることにより、歩行者にとっての立ち寄りやすさを詳細に反映した分析が可能となった。

5-3節では、歩行者ネットワークデータを用いて、本章で用いるネットワークデータを作成した。既存のネットワークデータに格納されている街路の属性データを用いて、各街路の移動負荷を計算し、属性データに結合した。また、移動負荷を移動コストに設定した、新規ネットワークデータを構築した。

5-4節では、代々木体育館・東京体育館・新国立競技場を対象に立ち寄りやすさ評価値を算出し、対象地域の立ち寄りやすさについて考察を進めた。分析の結果、対象地域には3エリア立ち寄りにくい地域が存在していることがわかった。また、4章のストレス量を算出した結果と照らし合わせると、歩道幅員が設置されていないまたは、狭幅員の街路に面しているエリアが立ち寄りにくい地域となっていることがわかった。

参考文献

- 1) 永杉 博正, 羽藤 英二(2014)「ネットワークの閉路特性に着目した駅周辺街路の回遊性分析とその適用—JR 中央線 9 駅の駅周辺街路ネットワークを対象として—」『都市計画学会論文集』, Vol. 49, No. 3, pp711-716, 日本都市計画学会
- 2) 福山 祥代, 羽藤 英二(2012)「行動データに基づく歩行者行動特性を考慮した街路ネットワーク分析—渋谷駅歩行圏を対象として—」『都市計画学会論文集』, Vol. 47, No. 1, pp62-67, 日本都市計画学会
- 3) 大佛 俊泰, 田中 あずさ(2017)「経路選択に関わる要因分析と歩行者行動のモデル化」『日本建築学会計画系論文集』 Vol. 82, No. 734, pp895-903, 日本建築学会
- 4) 大佛 俊泰, 津田 さやか(2012)「都市内移動の手段と方向性を考慮した移動コストの施設利用選択行動モデルへの組み込み」『日本建築学会計画系論文集』 Vol. 77, No. 676, pp1293-1300
- 5) 金光 淳 (2003)『社会ネットワーク分析の基礎』, 勁草書房
- 6) 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 武藤 伸明, 池田 哲夫, 風間 一洋(2015)「実距離を考慮した中心性指標の提案と重要観光スポット抽出への応用」『人工知能学会論文誌』, Vol. 30, No. 6, pp703-712, 人工知能学会
- 7) 小谷 通泰, 寺山 一輝(2017)「都心商業地域における歩行者による回遊行動の実態と要因分析—神戸市都心部を対象として—」『都市計画学会論文集』, Vol. 52, No. 3, pp. 239-246, 日本都市計画学会
- 8) 昭文社, MAPPLE, 歩行者ネットワークデータ
- 9) 猪井 博登, 中岡 亮(2007)「坂道での身体的負担を考慮したコミュニティバスのアクセス性改善効果に関する研究」『土木計画学研究・講演集』 Vol. 36

第 6 章

結論

第6章 結論

6-1 総括

本節では、研究の総括を行う。

第一章では、研究の背景や目的について整理した。2020 年に開催される東京オリンピック・パラリンピック大会に向けて新設または既存施設の改修工事が進められており、それを契機に、周辺環境の整備事業が計画されていることがわかった。また、競技会場を大会が終了した後も恒久的に利用していくことが計画されており、今後の活用を見越して周辺地域を整備し、賑わいを創出していくことが重要であることが示された。特に、歩行者目線の環境整備が課題とされており、歩行空間の改善について詳細に考察を進めていくべきであるとの結論に至った。既往研究を整理したところ、心拍変動の解析など生理的指標を用いることで、歩行者の歩きにくさ・ストレスを計測することが有効であることがわかった。また、街路ネットワーク分析に関して既往研究をレビューしたところ、中心性指標を用いることで、回遊性や立ち寄りやすさを定量的に評価できることがわかった。整備事業の目的である賑わい創出を競技会場の利用者が「周辺の観光施設や商業施設に立ち寄ること」と考え、中心性指標を用いて分析を行うことを決定した。

第二章では、研究の対象地域に関して、調査を進めた。競技会場の立地を確認したところ、既成市街地が形成されている「ヘリテッジゾーン」と新規開発が進められている有明等の「東京ベイゾーン」の2つのエリアに分類されていることがわかった。また、競技会場の基本情報を確認し、大会後の利用が計画されていることや収容人数の多さ等の条件から新国立競技場・東京体育館・代々木体育館の3施設を対象施設として選定した。また、各会場からの回遊距離をもとに、対象地域を千駄ヶ谷・神宮前地区に決定した。

第三章では歩行時ストレス計測実験における、実験の概要並びに実験結果について整理した。歩行時のストレス計測方法として心拍変動の解析を選定し、その中でも、LP面積の算出を評価方法として採用した。また、実施した歩行実験の心拍データからLP面積を算出し、データの特徴について考察を進めた。

第四章では、三章の結果を用いて、歩行時ストレス評価モデルを構築した。まずは、後半の重回帰分析やマルチレベル分析における多重共線性の問題を発生させないために、説明変数として用いる個人属性や街路の空間構成要素の関連性を確認した。量的変数間においては相関分析を、質的変数間に関しては χ^2 検定を、量的変数と質的変数に

関しては相関比を算出し、関連性の確認を行った。その結果、説明変数として歩道幅員・傾斜角度・傾斜角度ダミー・安静時LP面積・歩行速度・運動頻度の5つが選定された。その後、上記の変数を用いて、重回帰分析並びにマルチレベル分析を行った。その結果、全ての変数が有意を示し、説明力も十分に得られるということが示された。また、分析の結果を用いて、歩行時ストレス評価モデルを構築した。その後、モデル式から対象地域の各街路の歩行時ストレス量を算出し、地図上に可視化した。その結果、ストレスが高い街路が集中しているエリアが抽出された。

第五章では、立ち寄りやすさの定量的評価を行った。まず、4章の歩行時ストレス量をもとに、移動時間に重みづけした「移動負荷」を算出し、ネットワークデータの移動コストとして設定した。その後、作成したネットワークデータを用いて、競技会場ごとに立ち寄りやすさ評価値を算出した。そして、各会場の立ち寄りやすさ評価値を合計し、全体の評価値を算出し、地図上に可視化した。その結果、立ち寄りにくいエリアが3つ抽出された。その中でも、2つのエリアは商業施設が建ち並ぶエリアであるため、街路環境を改善する重要度が高いことがわかった。

以上より、本研究の第一の目的である歩行時のストレス量の定量的評価の結果からは、歩道幅員が2m以上確保されている街路はストレスが減少し、上り坂で傾斜が1度以上の街路はストレスが増大することが判明した。また、第二の目的である立ち寄りやすさの定量的評価の結果からは、回遊中心性をもとに立ち寄りが困難であるエリアが3つ抽出され、その内2つのエリアが優先的にアクセス経路の歩行環境を改善していくべきであることが示された。

6-2 課題と今後の展望

本研究の課題点としては歩行時ストレス評価モデルの一般性・有用性に関する問題と立ち寄りやすさの定量的評価の合計に関する問題の2点が挙げられる。

歩行時ストレス計測実験では、6名の参加者にご協力いただいた。参加者は20・30代と若年層に偏りがあるため、得られた結果が一般性がないのではないかと疑問を感じる。各年代ごとに参加者を募り、どの年代の人でも共通して、どの程度ストレスを感じるのかということを言及するのが理想的といえるだろう。

また、構築したモデルの有用性についてだが、説明変数の内、街路の空間構成要素の変数は歩道幅員ダミー・傾斜角度ダミーの2つのみであった。実験前は街路の障害物数や植栽の有無・歩行者量などがストレスに影響しているのではないかと仮説を立てていたが、実際には、モデルに組み込むことはできなかった。これは、サンプル数がやや少ないため、有意とならなかったのではないかと考えられる。

立ち寄りやすさの定量的評価の方法として回遊中心性を用いて、各競技会場ごとに評価値を算出したのち、合算し、全体の回遊中心性を計算した。この際に、全ての競技会場を同列に扱ったが、実際には競技会場によって収容人員が違うため、周辺地域へ立ち寄る人数に差が生じるだろう。そのため、競技会場ごとに人数分の重みづけを行い、計算すべきであると考えられる。また、駅の利用者数も違うため、乗降者数や競技会場からの距離をもとに重みづけすることで、より現実的な分析を行うことが可能といえる。

最後に今後の展望について述べていく。本研究の新規性としては、歩行時のストレス量から移動負荷を算出し、移動コストとして用いた点並びに、移動負荷を用いて、回遊中心性を算出したことといえる。歩行者レベルのストレスに着目し、その影響を考慮して回遊性や立ち寄りやすさを評価した研究はまだない。また、分析で用いた、LP面積や回遊中心性は提案されて間もないため、この二つを組み合わせで詳細な分析を行い、実証したという点は、研究として意義があるだろう。特に、心拍のような生理的指標を用いた建築・土木・都市計画分野の研究はまだ少なく、わずかではあるが、歩道幅員や傾斜といった街路環境の影響を反映できることを証明した点が研究として価値があると考えられる。本研究が生理的指標と街路環境の関係性などの分野の研究にわずかながらでも寄与できることを願っている。

資料編

資料編 A

歩行実験参加者への配布資料

歩行時のストレス実験に関するご説明

◆ 実験の内容

実際に街路を歩行して頂き、ストレスを測定します。

実験中は心拍センサー・ウェアラブルカメラ・GPS ロガーを装着します。心拍データ・歩行状況の動画・位置情報を取得します。実験終了までそのまま装着していただきます。実験は表 1 のスケジュール通り進行します。

実験は 2 時間を予定しています。前半 40 分、休憩 20 分、後半 60 分です。

前半では別紙の地図に記載されている①～⑥のルートを歩行します。その後、20 分休憩し、後半では⑦～⑮のルートを歩行します。

【実験の流れ】

1. 各ルートのスタート地点まで移動。(実験スタッフが案内します。)
2. 到着後ゴール方向に歩く。(2 分間隔で一人ずつ、スタート)
3. 参加者全員のゴールが完了したら、次のルートに移動。

※実験では「イベント終了後、帰宅途中に街を散策しながら歩く」ことを想定し、そのつもりで歩いてください。

実験ではできる限り、歩道の中央を歩いてください。歩道と車道が分離されていない箇所は、車道の片側に沿って歩行してください

表 1 実験のスケジュール

時間	内容
13 : 00	・ 実験の内容について説明 ・ 椅子に座った状態で心拍測定を行う (5 分)
13 : 30	・ 実験の前半をスタート (①～⑥のルート) ・ 所要時間は 40 分
14 : 10	・ 会議室に帰還 ・ 休憩 (20 分) ・ 椅子に座った状態で心拍測定を行う (5 分)
14 : 30	・ 実験の後半をスタート (⑦～⑮のルート) ・ 所要時間は 60 分
15 : 30	・ 会議室に帰還 ・ 椅子に座った状態で心拍測定を行う (5 分) ・ 実験装備の回収 ・ 実験の報告について説明
16 : 00	・ 解散

◆ 実験中の注意事項

歩行時は携帯電話を使用しないでください。

実験中は喫煙しないでください。

実験中は立ち止まらないでください。ただし、車が来た時など危険を回避する場合があります。

他の被験者と遭遇した場合や街の人に声をかけられた場合は会話しないでください。

警察の方に声をかけられた場合は、「大学の研究の一環で街歩きをしている」と伝え、「歩行時のストレス実験のご説明」を見せてください。実験責任者を呼ぶ必要がある場合は、鈴木までご連絡ください。

実験中に気分が優れないなど、不調をきたした場合、お声掛けください。その方の実験を中止します。

実験中に道に迷ってしまった場合は鈴木までご連絡ください。万が一、連絡がつかない場合は会議室（千駄ヶ谷区民会館、住所：東京都渋谷区神宮前 1-1-10）までお戻りください。会議室に到着後、会議室運営スタッフに“歩行時のストレス実験のご説明”を見せ、会議室を解錠してもらってください。

◆ その他

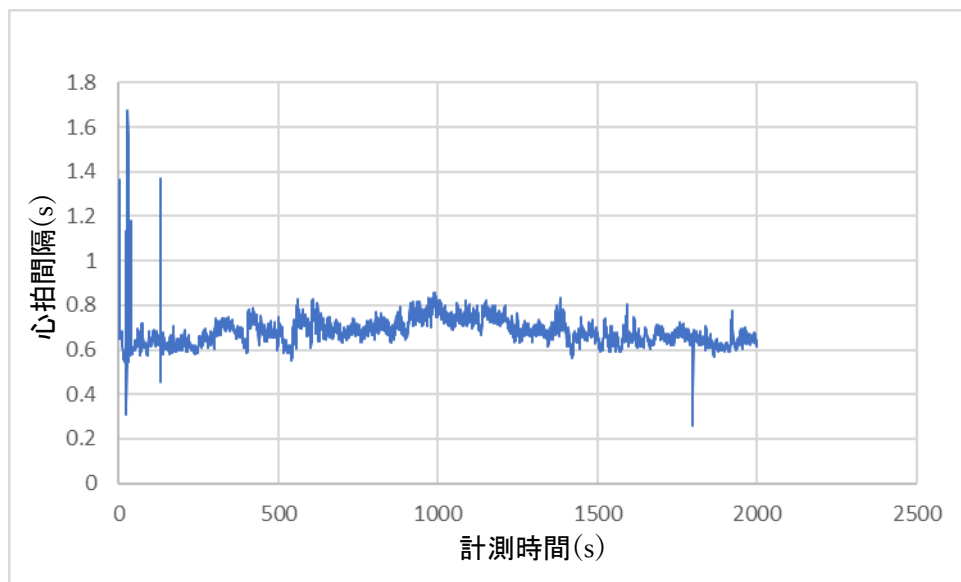
荷物は会議室に置いていただいて構いません。実験中は会議室に鍵を掛けます。

実験で得られたデータは厳重に保管し、学術的な目的でのみ使用します。

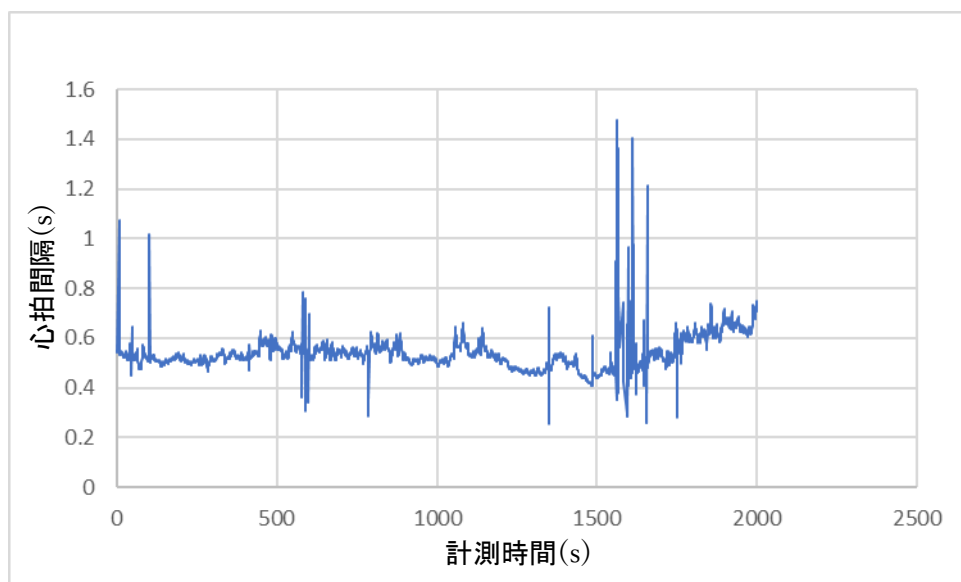
連絡先：首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市システム科学域
鈴木庸介 Mail:yosuke41600223@gmail.com
伊藤史子教授

資料編 B

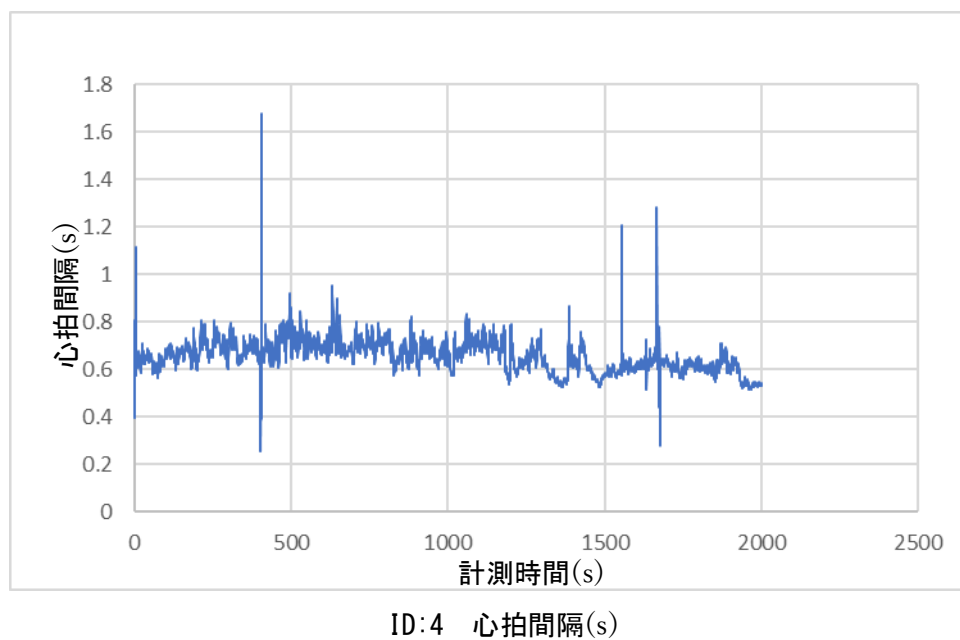
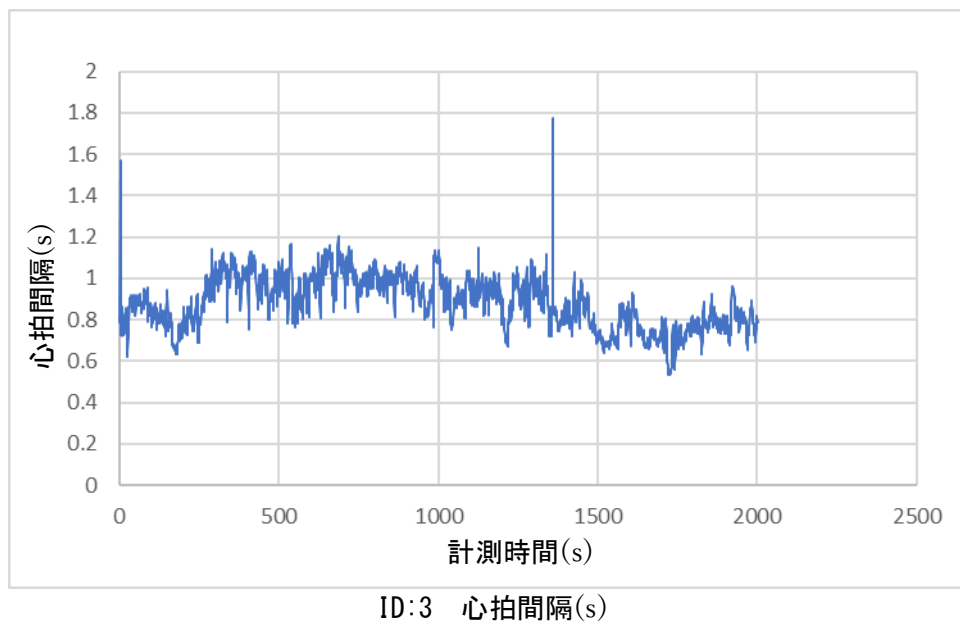
心拍間隔データ

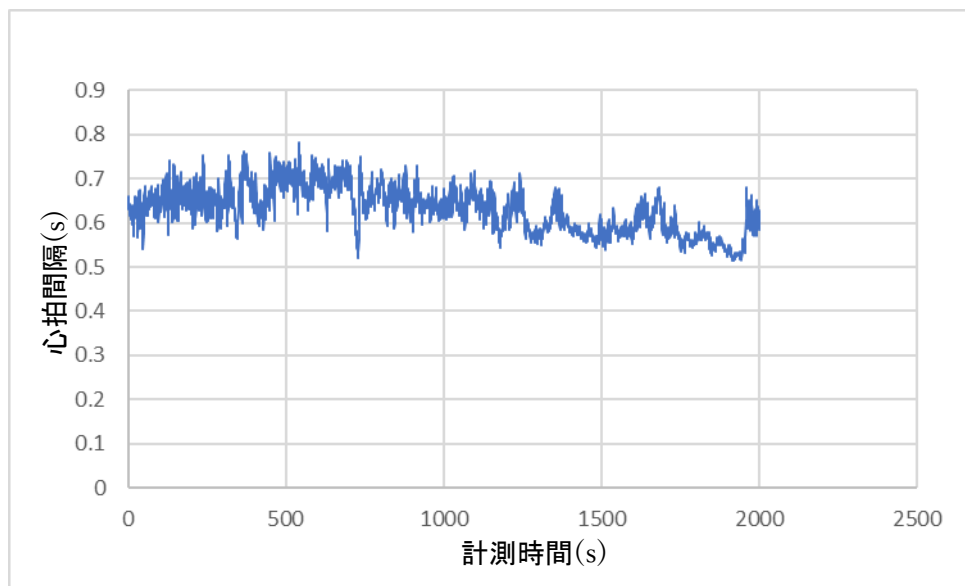


ID:1 心拍間隔(s)

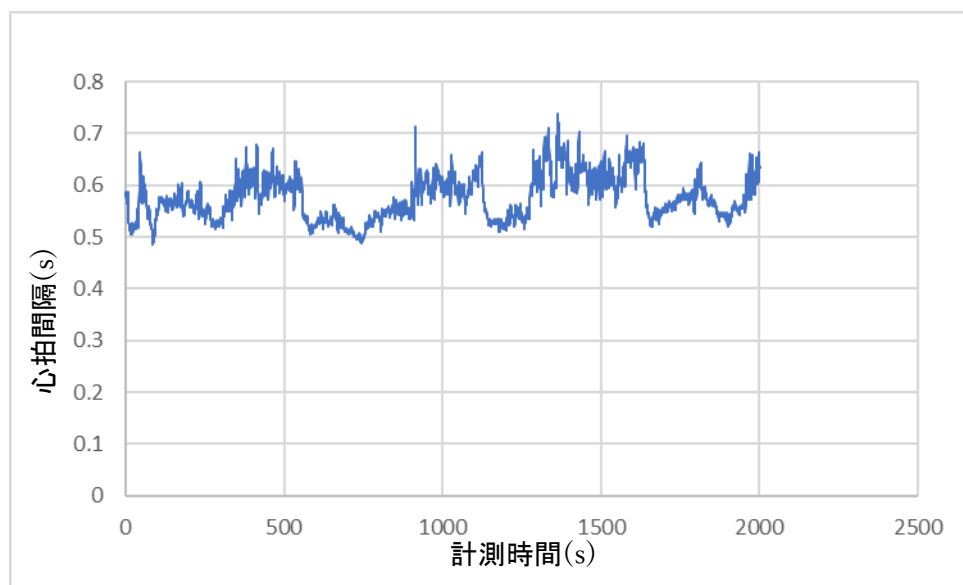


ID:2 心拍間隔(s)





ID:5 心拍間隔(s)



ID:6 心拍間隔(s)

謝辞

修士論文を作成するにあたり、多くの方々にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

伊藤史子教授には、修士研究を通して、ご指導ご鞭撻いただき深く感謝しております。私が伊藤研に來たばかりのころは、GIS など空間解析に関する知識や統計分析に関する知識はほとんどなく、右も左もわからない状態でしたが、数々のご助言のおかげで修士論文を書き上げることができました。また、研究に行き詰った際には、励ましていただき、修士研究を自信をもって遂行することができました。伊藤先生のもとで学んだ2年間に於いて、自身が大きく成長できたと感じております。大変ありがとうございました。

副査の小根山教授、杉原陽子准教授には、本論文の審査にあたり的確なご指摘とご指導を賜りました。小根山教授には、他学域にもかかわらず、審査していただき大変感謝しております。本論を詳細に読み込んでいただき、様々な角度からご指摘をいただいたことで、本論の学術的な意義を再確認することができました。杉原准教授には、研究の背景や目的、意義、用語の定義に至るまで細やかにご指導頂きました。また、普段の講義においても、私の理解が及ばなかった点について丁寧にご説明くださいました。小根山教授、杉原准教授には深く感謝申し上げます。

伊藤研究室の皆様には、本研究の歩行実験にご協力いただきました。お忙しい中、お時間を作っていただきありがとうございました。皆様のご協力のおかげで、大変充実したデータを得ることができました。また、普段の研究室会議においては、数々のアドバイスをいただき、論文の完成度を高めることができました。特に西尾尚子特任助教には、実験環境や分析結果の考察など様々な観点からご助言を賜りました。また、伊藤研 OB である川瀬純也氏には、分析方法や GIS の操作方法などご指導いただきました。先輩方の多くのご助言のおかげで、修士研究のレベルを向上させることができました。大変ありがとうございました。

都市システム科学域の同期の皆様とは切磋琢磨し合い、共に励まし合いながら歩んできました。懇親会などで皆様に会って話せると思うと嬉しくなり、毎回楽しみにしておりました。学生が少人数ということもあり、全員で助け合いながら2年間を過ごすことができたと思います。また、皆様は本当に優しく、この学域はとても居心地が良い場所だと感じておりました。この環境にいたからこそ、2年間研究を頑張ることができたのだと思います。深く感謝申し上げます。

本論文は多くの方々のご教示・ご厚情により、完成に至ることができました。心より感謝申し上げます。

2019 年 2 月 6 日

鈴木庸介